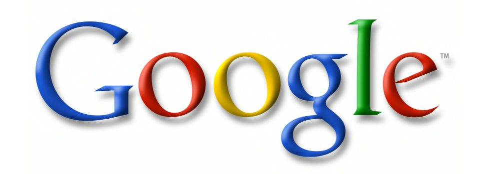
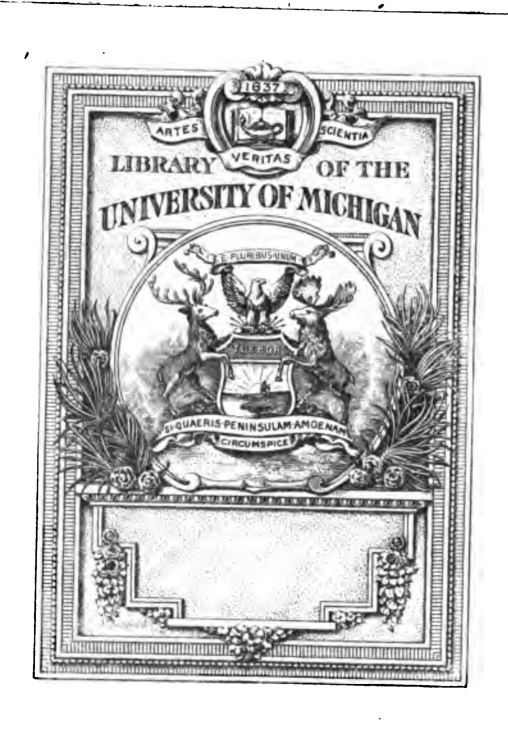



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

# ANNALES

DE

# CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TOME XXVIII.

# ANNALES

## DE

# CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

Par MM. GAY-LUSSAC et ARAGO.

---

TOME VINGT-HUITIÈME.



A PARIS,

Chez CROCHARD, Libraire, cloître Saint-Benoît, n° 16, près la rue des Mathurins.

1825.

DE L'IMPRIMERIE DE FEUGUERAY,
rue du Cloître Saint-Benoît, n° 4.

# ANNALES

DE

# CHIMIE ET DE PHYSIQUE.


## SECOND MÉMOIRE *sur la Théorie du Magnétisme.*


PAR M. POISSON.


(Lu à l'Académie royale des Sciences, le 27 décembre 1824.)

LE premier Mémoire sur cette matière, que j'ai lu à l'Académie il y a près d'un an, renferme une exposition très-développée des principes qui servent de base à l'application de l'analyse mathématique à cette partie importante de la physique. Ces principes sont des hypothèses auxquelles on est conduit par la considération des faits les plus généraux du magnétisme, et qui se trouvent ensuite vérifiées par la comparaison des résultats du calcul à ceux de l'expérience. L'analogie que l'on remarque entre les attractions et répulsions magnétiques, et les actions mutuelles des corps électrisés, nous porte d'abord à attribuer ces phénomènes, pour le magnétisme comme pour l'électricité, à deux fluides dont chacun attire les molécules de l'autre, et repousse avec la même force ses propres particules. Mais on re-

connait bientôt que ces fluides impondérables ne doivent pas être disposés dans les corps susceptibles d'aimantation par influence, comme ils le sont dans les corps conducteurs de l'électricté. Dans ceux-ci, les deux fluides électriques, dès qu'ils sont séparés l'un de l'autre, se portent à la surface, et ils peuvent passer, en toute quantité, d'un corps dans un autre. Il n'en est pas de même à l'égard des deux fluides *boréal* et *austral* : ces fluides ne sortent jamais des plus petits corps auxquels ils appartiennent, quelque puissantes que soient les forces qui produisent l'aimantation ; d'où l'on a conclu que, dans l'intérieur des corps aimantés, les deux fluides magnétiques n'éprouvent que des déplacemens insensibles, qui suffisent néanmoins pour rendre sensible au dehors la différence de leur action, répulsive pour l'un et attractive pour l'autre. J'ai nommé, dans mon premier Mémoire, *élémens magnétiques* d'un corps, les espaces extrêmement petits par rapport à son volume entier, dans lesquels les fluides boréal et austral peuvent se mouvoir séparément ; je n'ai fait aucune supposition particulière sur leur forme ni sur leur disposition respective, et je les ai considérés comme isolés les uns des autres par des intervalles imperméables au magnétisme. D'après cette manière d'envisager la constitution intime des aimans, la somme des élémens magnétiques qu'ils contiennent est une fraction de leur volume qui peut varier dans les diverses substances susceptibles d'aimantation, et dépendre aussi de la température ; ce qui explique comment deux corps de même forme, mais de différentes matières, ou pris à des degrés de chaleur différens, peuvent exercer, sous l'influence des mêmes

forces, des actions magnétiques d'intensités très-inégales.

En partant de ces principes, que je ne rappelle ici que très-succinctement, j'ai formé, dans le premier Mémoire, les équations qui renferment, pour tous les cas, les lois de la distribution du magnétisme dans l'intérieur des corps aimantés par influence, et celles des attractions ou répulsions qu'ils exercent sur des points donnés de position. Ce n'est plus maintenant qu'une question d'analyse, de résoudre ces équations pour en déduire des résultats comparables à l'expérience; mais cette résolution n'est possible que dans un nombre de cas très-limité, eu égard aux différentes formes des aimans. Celui que j'ai pris pour exemple dans le premier Mémoire, et qui admet une solution complète, est le cas d'une sphère pleine ou creuse, aimantée par des forces dont les centres d'actions sont distribués d'une manière quelconque, au dehors ou dans son intérieur. En réduisant ces forces à une seule, à l'action magnétique de la terre, les formules qui contiennent cette solution deviennent très-simples. On en déduit sans difficulté la déviation d'une aiguille de boussole, produite par le voisinage d'une sphère ainsi aimantée par l'influence de la terre. Cette déviation varie avec la distance du milieu de l'aiguille au centre de la sphère, au plan du méridien magnétique passant par ce centre, et au plan mené par le même point, perpendiculairement à la direction du magnétisme terrestre. Les lois de ces diverses variations données par le calcul s'accordent avec celles que M. Barlow, professeur à Woolwich, a conclues d'une nombreuse suite d'expériences qu'il a faites

sur ce sujet. Le calcul rend aussi raison d'un fait très-remarquable, observé par M. Barlow, et relatif à l'action magnétique d'une sphère creuse : ce physicien a reconnu que l'intensité de cette action ne varie pas sensiblement avec l'épaisseur du métal, du moins quand cette épaisseur n'est pas très-petite, et n'atteint pas une limite qu'il a fixée à environ un trentième de pouce, sur une sphère de 10 pouces anglais de diamètre; d'où il a cru pouvoir conclure que le magnétisme se tient à la surface des corps aimantés, et qu'il ne les pénètre point au-delà d'une très-petite profondeur. Mais un calcul fondé sur la distribution des deux fluides dans toute la masse des aimans, montre que, conformément à l'expérience, l'action d'une sphère creuse est à très-peu près indépendante de son épaisseur, tant que le rapport de celle-ci au rayon n'est pas une très-petite fraction qui doit changer de valeur avec la matière de la sphère.

Cet accord remarquable du calcul et de l'observation fournit déjà une confirmation importante de l'exactitude de notre analyse et de la théorie du magnétisme sur laquelle elle est fondée. Cependant on pourrait desirer que cette théorie fût soumise à des épreuves encore plus variées; et dans cette vue, j'ai cherché s'il ne serait pas possible de résoudre les équations générales du premier Mémoire, en les appliquant à des corps qui n'eussent pas, comme la sphère, une forme constante. J'ai trouvé qu'en effet ces équations peuvent être résolues très-simplement, dans le cas d'un ellipsoïde quelconque, pourvu que la force qui produit son aimantation soit constante en grandeur et en direction dans toute son

étendue; ce qui a lieu, par exemple, à l'égard du magnétisme terrestre. Cette solution est l'objet du premier paragraphe du Mémoire que je présente aujourd'hui à l'Académie.

Après avoir donné les formules relatives à un ellipsoïde dont les axes ont entr'eux des rapports quelconques, j'ai spécialement considéré les deux cas extrêmes où ce corps est très-aplati et où il est au contraire très-allongé. Un ellipsoïde très-aplati peut représenter une plaque dont l'épaisseur varierait très-lentement près du centre, et décroîtrait depuis ce point jusqu'à sa circonférence. Son action sur des points peu éloignés de son centre doit être sensiblement la même que celle de toute autre plaque, d'une épaisseur constante et d'une très-grande étendue (1). De même, un ellipsoïde très-allongé est à très-peu près, dans la pratique, une aiguille ou une barre dont le diamètre décroît depuis son milieu jusqu'à ses extrémités, en variant d'abord très-lentement; et son action sur des points voisins de son milieu doit très-peu différer de celle d'une barre dont le diamètre serait constant et très-petit par rapport à sa longueur. Lors

(1) C'est par erreur que, dans l'extrait de mon premier Mémoire (tome xxv, page 130 de ces *Annales*), j'ai indiqué l'action d'une plaque d'une grande étendue comme pouvant se déduire de celle d'une sphère creuse, en faisant croître indéfiniment son rayon : la portion de la couche sphérique qui s'éloigne du point attiré augmente en étendue dans le même rapport que les actions de ses points diminuent; ce qui fait que son action totale est une quantité finie qui n'est pas négligeable, comme je l'avais supposé.

donc que les physiciens auront observé les actions d'une barre ou d'une plaque aimantée par l'influence de la terre, sur des points très-rapprochés du milieu ou du centre de ces corps, on pourra comparer, sous ce nouveau point de vue, la théorie à l'observation. Afin de faciliter cette comparaison, j'ai eu soin d'énoncer, dans mon Mémoire, les conséquences principales du calcul qui mériteraient le plus d'être vérifiées par l'expérience.

Le second paragraphe de ce Mémoire est relatif à une question curieuse sous le rapport de la théorie, mais surtout importante pour la pratique, et dont on s'est beaucoup occupé en Angleterre dans ces derniers temps. Je veux parler des moyens de détruire les déviations que la boussole éprouve à bord d'un vaisseau, et qui sont produites par l'action magnétique des canons, des ancres et des autres masses de fer dont elle est environnée. Tous ces corps sont aimantés par l'influence de la terre; dans cet état, ils agissent sur la boussole, et la font dévier de quantités quelquefois très-considérables, puisqu'on a mesuré des déviations produites par cette cause qui s'élevaient à plus de 20° de part et d'autre de la direction naturelle de l'aiguille, et même jusqu'à près de 40° dans un voyage à de hautes latitudes. Elles varient dans un même lieu avec l'orientation du vaisseau par rapport à cette direction; elles varient aussi quand la direction du magnétisme terrestre vient à changer avec la latitude; il fallait donc trouver un moyen de les détruire pour toutes les directions possibles de l'action de la terre, relativement à des lignes fixes dans l'intérieur du vaisseau. Celui que M. Barlow a proposé a déjà été mis en pratique dans plusieurs voyages de long cours. Si ce moyen n'a pas fait dispa-

raître entièrement les déviations de la boussole, il les a du moins réduites à peu d'étendue; et jusqu'ici l'on a jugé qu'il suffisait aux besoins de la navigation. Il consiste à placer près de la boussole une plaque de fer qui s'aimante aussi par l'action de la terre. On la dispose de manière que l'aiguille prenne et conserve, dans toutes les orientations du vaisseau, une direction parallèle à celle d'une autre boussole horizontale, placée à terre à une assez grande distance du vaisseau pour n'en point éprouver d'influence sensible. L'auteur suppose que, par des essais, on pourra toujours trouver une position de la plaque qui jouisse de cette propriété; et quand on l'aura déterminée, on y fixera cet instrument qui devra ensuite demeurer constamment à la même place. Si les autres masses de fer que le vaisseau renferme n'éprouvent pas non plus de déplacemens considérables, et si, en effet, les déviations ont été nulles dans tous les sens au point de départ, il est évident qu'elles continueront de l'être pendant toute la navigation, malgré les changemens d'intensité et de direction du magnétisme terrestre: c'est ce qu'on voit aisément en considérant, d'une part, que tous les corps susceptibles d'aimantation qui font partie du vaisseau, y compris la plaque de fer ajoutée par M. Barlow, étant aimantés par l'action de la terre, les intensités de leurs actions magnétiques croîtront ou décroîtront dans le même rapport que cette force; et, d'un autre côté, que cette force, demeurant toujours parallèle à elle-même dans toute l'étendue du vaisseau, le changement de sa direction absolue ne peut produire d'autre effet que le changement de situation du vaisseau, par rapport à cette même direction. Toutefois il est bon d'observer que le vaisseau

aura dû être soumis, à son point de départ, à des mouvemens de rotation, non-seulement autour d'un axe vertical, mais aussi autour d'un axe horizontal; non pas qu'on doive par la suite observer la boussole dans des situations inclinées du bâtiment, mais, ce qui revient au même, parce que l'inclinaison magnétique pourra augmenter ou diminuer pendant la navigation.

D'après ces considérations, la question qui fait l'objet du dernier paragraphe de ce Mémoire se réduit à examiner s'il est possible de détruire identiquement, c'est-à-dire, pour toutes les directions du magnétisme terrestre, les déviations d'une aiguille horizontale, produites par des corps aimantés par l'influence de la terre, en y ajoutant un morceau de fer qui s'aimantera par la même cause. Cela exige d'abord que le magnétisme ait le même degré de mobilité dans le morceau de fer et dans chacun des autres corps; mais nous admettrons que la force coërcitive y soit très-faible, de manière que la distribution du magnétisme s'y fasse à chaque instant, d'après la direction actuelle de l'action de la terre; supposition qui paraît s'éloigner peu de la vérité, par rapport aux matières susceptibles d'aimantation qui se trouvent à bord des vaisseaux. Quant à la forme des corps qui agissent sur la boussole, j'ai supposé, pour parvenir à une solution complète de la question proposée, que tous ces corps sont des sphères pleines ou creuses, de diamètres et d'épaisseurs quelconques, assez distantes les unes des autres pour que leur influence mutuelle puisse être négligée, et qui seront, au reste, disposées arbitrairement autour de l'aiguille aimantée. C'est donc un semblable système de corps sphériques, aiman-

tés par l'influence de la terre, dont j'ai déterminé l'action sur un point donné, afin de voir si, en disposant convenablement du rayon et du centre de l'un d'eux, on ne pourrait pas rendre identiquement nulle la déviation d'une boussole horizontale placée en ce point, abstraction faite de sa réaction sur ces différens corps.

Les formules de mon Mémoire montrent immédiatement que cette action ne peut jamais être nulle pour toutes les directions de la force qui produit l'aimantation: par conséquent, la durée des oscillations de l'aiguille aimantée sera toujours altérée, lors même qu'elle conserverait constamment sa direction naturelle. Pour que la boussole horizontale n'éprouve aucune déviation, il suffit que les composantes horizontales de l'action de la terre et de l'action du système de corps aimantés coïncident entre elles pour toutes les directions du magnétisme terrestre. Or, on trouve que cette coïncidence n'est possible qu'autant qu'une certaine quantité dépendante des rayons des sphères donnés, de leurs distances mutuelles, et de leurs distances à la boussole et au plan horizontal qui la contient, est positive ou nulle, et qu'une autre quantité dépendante des mêmes élémens est égale à zéro; et réciproquement, quand ces deux conditions sont remplies, on peut produire la coïncidence demandée, au moyen d'une nouvelle sphère ajoutée au système des sphères données. La grandeur de son rayon et la position de son centre ne seront pas toutes deux déterminées: on connaîtra seulement les directions d'une ou de plusieurs droites menées par le milieu de la boussole, sur lesquelles ce centre pourra être pris; et sa distance à l'aiguille dépendra du rayon qu'on voudra donner à la sphère

ajoutée, et lui sera proportionnelle. Cette indétermination tient à ce que l'action d'une sphère sur un point reste la même en grandeur et en direction, lorsque son centre se meut sur une droite passant par ce point et qu'en même temps son rayon croît ou décroît dans le même rapport que sa distance à ce même point. Si le système de sphères données n'en comprend qu'une seule, il faudra que son centre et celui de la sphère ajoutée soient situés dans le plan horizontal qui contient l'aiguille aimantée ; les droites menées de ces deux centres à son milieu devront s'y couper à angle droit ; et il sera nécessaire que les longueurs de ces lignes soient entre elles comme les rayons des deux sphères : cela étant, la boussole conservera constamment sa direction naturelle, lorsque l'on fera tourner le système des deux sphères autour de son point de suspension ; ce qu'il serait aisé de vérifier par l'expérience.

L'exemple que nous avons traité suffit pour prouver qu'il n'est pas toujours possible de détruire en tous sens les déviations d'une aiguille aimantée, en ajoutant un nouveau corps à l'ensemble de ceux qui les produisent. Quoiqu'on ne puisse pas assigner les conditions analogues à celles que nous avons trouvées pour des corps sphériques, qui devraient avoir lieu pour des corps de formes quelconques, on peut du moins fixer, dans tous les cas, le nombre de ces conditions : lorsqu'un système de corps aimantés par l'action de la terre et soumis à leur influence mutuelle agit sur une aiguille de boussole, il est nécessaire, pour que la déviation horizontale de l'aiguille soit constamment nulle, que ce système satisfasse à des équations dépendantes de la forme et de

la disposition des corps, qui seront au nombre de cinq dans le cas le plus général. Si parmi ces corps il existe une sphère d'un rayon donné, mais dont la position soit indéterminée, on pourra disposer des trois coordonnées de son centre pour satisfaire à ces cinq équations, ce qui les réduira à deux équations de condition; et, en outre, il y aura d'autres conditions qui devront être remplies pour que les valeurs des inconnues soient réelles. Si le corps mobile, au lieu d'être une sphère, est, par exemple, une plaque circulaire, d'un diamètre et d'une épaisseur donnés, on pourra disposer des trois coordonnées de son centre, et des deux angles qui servent à déterminer sa direction; on aura donc alors autant d'indéterminées que d'équations à satisfaire, et il ne restera plus que les conditions nécessaires à la réalité des valeurs de ces cinq inconnues. L'usage qu'on a fait de ce moyen à bord des vaisseaux ayant diminué beaucoup les écarts de la boussole, il en faut conclure que, dans la disposition ordinaire des masses de fer qu'un bâtiment renferme, les conditions relatives à ce système de corps sont à-peu-près remplies; mais on ne saurait assurer qu'il ne se présentera pas d'autres cas dans lesquels l'addition d'un seul corps d'une forme et de dimensions déterminées ne suffirait plus pour détruire les déviations de l'aiguille, ni même pour les réduire à d'assez petites limites, surtout lorsque l'inclinaison magnétique viendrait à changer considérablement pendant le trajet du vaisseau.

M. Barlow a aussi proposé d'employer son instrument d'une manière qui est, pour ainsi dire, inverse de celle que nous avons expliquée plus haut. Au départ du vais-

seau, on cherche, par des essais, une position de la plaque de fer près de la boussole, qui soit telle que dans toutes les directions du bâtiment, ce corps fasse dévier l'aiguille de la même quantité et dans le même sens que le fer du bâtiment. Il en résulte que, si les déviations ne sont pas très-considérables, les actions réunies de ce fer et de la plaque produiront des écarts à-peu-près doubles de ceux qui seraient dus à une seule de ces causes. Cela étant, lorsqu'on voudra connaître pendant le voyage la déclinaison vraie de la boussole, on l'observera deux fois : une première fois en éloignant la plaque de manière que son action soit insensible, et une seconde fois en la plaçant dans la position déterminée d'avance, où son effet est égal à celui du bâtiment ; la différence des deux angles observés pourra être prise pour la mesure de cet effet ; en sorte qu'on aura la véritable direction de l'aiguille, en ajoutant cette différence à la première déclinaison observée, lorsque l'addition de la plaque aura diminué la déclinaison, et en l'en retranchant quand elle l'aura augmentée.

Pour apprécier le degré de généralité de cette méthode de correction, j'ai cherché si l'on pouvait produire avec une seule sphère, pour toutes les directions du magnétisme terrestre, les mêmes déviations d'une aiguille horizontale qui sont dues à un système de sphères, données de grandeur et de position, et aimantées, ainsi que la sphère cherchée, par l'influence de la terre. Le calcul montre que cela n'est possible qu'autant que ces corps satisfont, comme dans le cas précédent où l'on voulait détruire leur effet, à deux conditions particulières : il faut qu'une certaine quantité dépendante des

rayons et de la disposition des sphères données soit égale à zéro, et qu'une autre quantité qui, dans le cas précédent, devait être positive ou nulle, soit maintenant nulle ou négative. Ainsi, sous le rapport de la généralité, cette seconde méthode n'a aucun avantage sur la première; elle est d'ailleurs d'un usage moins simple, et elle deviendrait impraticable si on voulait l'employer dans les cas de très-grandes déviations, contre lesquelles il est cependant le plus important de se prémunir.

Lorsque toutes les sphères données ont leurs centres dans le même plan horizontal qui contient l'aiguille aimantée, il est à la fois possible d'en détruire l'effet ou de le remplacer identiquement par l'action d'une seule sphère convenablement placée. Le centre de celle-ci doit être situé dans le plan horizontal, où se trouvent les centres de tous les autres; et d'après leur distribution dans ce plan et les grandeurs de leurs rayons, on peut déterminer les directions de deux droites, menées par le milieu de l'aiguille, et s'y coupant à angle droit, sur l'une ou l'autre desquelles on devra prendre le centre de la sphère cherchée, selon qu'on voudra détruire ou remplacer l'effet des sphères données, la distance de ce centre au milieu de l'aiguille dépendant toujours du rayon qu'on donnera arbitrairement à la sphère demandée.

---

Je joins à cet extrait les formules relatives à l'action d'une sphère aimantée par l'action de la terre, d'où l'on déduit, par des calculs très-simples, les résultats con-

tenus dans le second paragraphe de mon Mémoire, et que je viens d'énoncer.

Soit $a$ le rayon de la sphère; $r$ la distance de son centre au point donné sur lequel elle agit; $x$, $y$, $z$ les trois coordonnées de ce centre, rapportées à trois axes rectangulaires, menés arbitrairement par le point donné; $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, les composantes de l'action de la sphère, suivant ces trois axes; $X$, $Y$, $Z$, celles de l'action de la terre suivant les mêmes droites, on aura :

$$X = -\frac{ka^3}{r^3}\left(\alpha - \frac{3\alpha x^2}{r^2} - \frac{3\beta y x}{r^2} - \frac{3\gamma z x}{r^2}\right),$$

$$Y = -\frac{ka^3}{r^3}\left(\beta - \frac{3\beta y^2}{r^2} - \frac{3\alpha x y}{r^2} - \frac{3\gamma z y}{r^2}\right),$$

$$Z = -\frac{ka^3}{r^3}\left(\gamma - \frac{3\gamma z^2}{r^2} - \frac{3\alpha x z}{r^2} - \frac{3\beta y z}{r^2}\right).$$

La quantité que $k$ représente est une fraction dépendante de la matière de la sphère, et qui paraît en général différer très-peu de l'unité. Lorsque la sphère est creuse, cette quantité doit être remplacée par celle-ci :

$$\frac{(a^3 - b^3)(1 + k)k}{(1 + k)a^3 - 2k^2 b^3},$$

dans laquelle $b$ est le rayon intérieur de ce corps, et qui diffère aussi très-peu de l'unité, tant que l'épaisseur $a - b$ de la sphère creuse n'est pas très-petite par rapport à son rayon $a$.

Pour calculer la déviation d'une aiguille au moyen de ces formules, on placera l'origine des coordonnées à son milieu, et en négligeant le rapport de sa longueur à la distance $r$, les valeurs des forces $X$, $Y$, $Z$, relatives à ses deux poles, seront égales et de signes contraires.

# Sur *les Effets électro-dynamiques produits pendant la décomposition de l'eau oxigénée par divers corps, et sur d'autres phénomènes électro-chimiques.*

Par M. Becquerel,
Ancien Chef de Bataillon du Génie.

( Lu à l'Académie des Sciences le 3 octobre 1824 ).

Il est bien prouvé maintenant que, lorsque les molécules de deux corps se combinent et se séparent ensuite, il résulte de ces deux actions des phénomènes électriques qui sont dans une certaine dépendance les uns par rapport aux autres; l'identité entre les affinités chimiques et les actions électriques semble en être la suite : cependant ce n'est pas un motif pour croire que la théorie électro-chimique, fondée sur les principes qui découlent des faits généraux, soit à l'abri de toute attaque; on ne doit la considérer encore que comme l'échafaudage qui servira à construire l'édifice. Jusque là il faut accumuler les faits, et découvrir des procédés à l'aide desquels on puisse interroger la nature dans cette classe intéressante de phénomènes.

Le Mémoire que nous avons l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie, renferme des recherches dirigées vers ce but. Nous le diviserons en trois parties : la première traitera des effets électro-dynamiques produits pendant la décomposition du peroxide d'hydrogène par divers corps qu'on y plonge; la seconde, de nouveaux procédés d'expérience, à l'aide desquels on peut observer d'une manière rigoureuse les effets électriques qui ont lieu pendant l'action chimique de deux dissolutions l'une

sur l'autre; la troisième, de quelques applications des phénomènes électro-dynamiques à la chimie.

## Chapitre Ier.

### *Des Effets électriques produits, pendant la décomposition du peroxide d'hydrogène, par le contact de divers corps.*

Les propriétés remarquables dont jouit le peroxide d'hydrogène, quand on le met en contact avec un grand nombre de corps, nous ont engagé à rechercher s'il ne se produit pas, au moment où elles se manifestent, des phénomènes électriques analogues à ceux que l'on observe dans les actions chimiques.

M. Thenard a découvert, comme on sait, que les métaux, à l'exception du fer, de l'étain, de l'antimoine et du tellure, tendaient tous à décomposer le peroxide d'hydrogène; que les plus oxigénables s'oxidaient et donnaient lieu en même temps à un dégagement d'oxigène, tandis que ceux qui ne l'étaient pas conservaient leur éclat métallique. Ce célèbre chimiste a trouvé aussi qu'un grand nombre de corps jouissaient également de la propriété de décomposer l'eau oxigénée.

Nous allons étudier successivement les effets électriques qui ont lieu, 1°. dans le contact de l'eau oxigénée avec quelques-uns des métaux appartenant à chacune des deux classes dont nous venons de parler; 2°. dans son contact avec les oxides métalliques.

### *Des Métaux qui décomposent le peroxide sans s'altérer.*

On peut soumettre ces corps de deux manières à l'expérience; la première, qui donne les effets électriques

les plus marqués, consiste à former des éponges métalliques, dans le genre de celles que l'on obtient avec l'hydrochlorate ammoniaco de platine chauffé au rouge dans un creuset.

Prenons d'abord le platine : on fixe une cuiller de ce métal à l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre très-sensible, et à l'autre une éponge aussi en platine. Dans la cuiller, on verse de l'eau renfermant sept à huit fois son volume d'oxigène, et on y plonge l'éponge; au même instant il y a autour d'elle une effervescence produite par le dégagement de l'oxigène, puis un courant électrique qui va de l'eau oxigénée à l'éponge, comme s'il y avait eu action chimique. Ce courant est uniquement dû à la décomposition de l'eau oxigénée; car le platine de la cuiller et celui du fil éprouvant la même action par le contact du liquide, les effets électro-dynamiques qui en résultent doivent se détruire. De plus, il est facile de prouver que le changement de température qui a lieu pendant la décomposition du peroxide d'hydrogène, n'est pas la cause du courant. En effet, l'éponge devrait s'échauffer davantage que l'eau, puisque les métaux sont meilleurs conducteurs du calorique que les liquides; le courant, s'il provenait d'une élévation de température, aurait donc dû aller de l'éponge à l'eau oxigénée, conformément aux expériences que nous avons faites précédemment : or, nous trouvons ici le contraire : ainsi l'effet dont nous parlons ne provient pas d'une différence de température.

Nous ferons remarquer que le peroxide d'hydrogène étant très-difficile à préparer, il sera bon d'opérer avec des vases qui n'en consommeront qu'une très-petite quantité; on se servira donc d'une cuiller de platine de trois à quatre

millimètres d'ouverture, et d'une éponge grosse à proportion.

*Or très-divisé (provenant de l'hydrochlorate d'or réduit par le sulfate de fer).*

On prépare l'éponge d'or en mettant sur du charbon ou dans un tube de verre une certaine quantité d'or préparé comme nous venons de le dire ; on élève la température pour que les parties puissent adhérer ensemble et former une masse assez solide que l'on fixe à l'un des bouts du fil d'un galvanomètre ; l'autre bout communique à une petite cuiller d'or ; on opère ensuite comme nous l'avons fait précédemment, et l'on trouve encore que le courant électrique produit dans cette circonstance va de l'eau oxigénée à l'éponge d'or.

L'argent très-divisé, précipité par le cuivre de la dissolution du nitrate d'argent, et formé en éponge, se comporte de même que le platine et l'or.

Le second procédé pour observer les mêmes phénomènes consiste à fixer à l'un des bouts du fil une lame de métal, à mettre dessus des parties très-divisées du même métal, à élever la température suffisamment pour qu'il y ait adhérence, à y verser de l'eau oxigénée, et à toucher le liquide avec une lame de même métal, attachée à l'autre bout du fil. Il faut seulement avoir l'attention de n'employer que des lames de métal parfaitement semblable à celui qui est en partie très-divisé, et d'enlever surtout les corps étrangers qui adhèrent souvent aux surfaces.

Les effets électro-dynamiques que nous venons de rapporter tendent à prouver que la décomposition du peroxide d'hydrogène par les métaux non oxidables, et les actions

chimiques en général proviennent d'une même cause, qui est l'électricité. En effet, d'après la théorie électro-chimique que nous avons développée dans l'un de nos derniers Mémoires, et que nous adopterons provisoirement, les particules des corps paraissent avoir une électricité qui leur est propre, et qui, agissant sur l'électricité de l'espace, attire celle de nom contraire, et repousse l'autre, de sorte que ces particules sont censées entourées d'atmosphères électriques. C'est ainsi que l'on suppose que les particules des acides et de l'oxigène sont essentiellement négatives et enveloppées d'atmosphères d'électricité positive, tandis que les particules de l'hydrogène et des métaux sont positives. D'après cela, lorsque la décomposition du peroxide d'hydrogène a lieu, les particules de l'eau, qui sont positives par rapport à celles de l'oxigène, doivent reprendre une portion de leurs atmosphères d'électricité négative, qu'elles possédaient avant d'être combinées avec l'oxigène : pour cela, elles doivent décomposer l'électricité naturelle de la cuiller qui renferme l'eau oxigénée, attirer l'électricité négative, et repousser l'électricité positive dans le fil du galvanomètre. De même, les molécules de l'oxigène devenant libres, doivent reprendre leurs atmosphères d'électricité positive ; et comme le dégagement de gaz a lieu autour de l'éponge métallique, elles doivent décomposer l'électricité naturelle de celle-ci, attirer l'électricité positive et repousser l'autre dans le fil. Il doit résulter du concours de ces deux actions électriques un courant, dans la formation duquel l'électricité positive est fournie par la cuiller, et l'élecricité négative par l'éponge. Quant à la cause qui détermine la décomposition de l'eau oxigénée, on peut encore l'attribuer à l'élec-

tricité. En effet, lorsque deux particules, appartenant chacune à un corps différent, se combinent ensemble, l'électricité de l'une d'elles (celle qui en a le moins) est entièrement neutralisée par l'électricité de l'autre; de sorte que la particule composée possède une quantité d'électricité égale à la différence des électricités d'espèce opposée des deux composantes. C'est l'expérience seule qui peut faire connaître cette différence; car la théorie électro-chimique n'est pas encore assez avancée pour qu'on puisse déterminer les quantités relatives d'électricité que possèdent ces particules des corps : or, l'oxigène étant le corps qui est le plus électro-négatif, c'est-à-dire, celui dont les particules possèdent le plus d'électricité négative, et les particules de l'eau ne pouvant avoir qu'une petite quantité d'électricité positive, puisqu'elles sont elles-mêmes composées de deux particules qui ont perdu une partie de leur électricité par l'effet de la combinaison, il y a donc quelque probabilité à supposer que dans l'eau oxigénée l'électricité négative des particules de l'oxigène qui se sont combinées avec celles de l'eau, n'est pas entièrement neutralisée par l'électricité positive propre aux molécules de l'eau : dans cette supposition, qui paraît assez naturelle, rien ne s'opposerait alors à ce que les atmosphères des particules de l'oxigène n'agissent sur celles du métal que l'on plonge dans le peroxide d'hydrogène, puisque les unes et les autres sont formées d'électricité contraire; mais comme l'oxigène ne se combine pas directement avec le platine, l'or, etc., il doit se dégager : c'est aussi ce qui a lieu. Cette explication, qui nous paraît très-simple, résulte de l'exposition des faits; nous la présentons comme une hypothèse.

*Des Métaux qui décomposent le peroxide d'hydrogène en absorbant une partie de son oxigène, et dégageant l'autre.*

Les phénomènes électriques qui se manifestent quand on met en contact le peroxide d'hydrogène avec un métal capable d'absorber une portion de son oxigène, et de laisser dégager l'autre, proviennent évidemment de deux causes : 1°. de la décomposition du peroxide ; 2°. de l'oxidation du métal. Le courant électrique que l'on obtient alors est donc la somme ou la différence des deux courans partiels, selon qu'ils vont dans le même sens ou dans un sens différent ; mais comme les effets électro-dynamiques relatifs à l'oxidation varient souvent, sans qu'on puisse en connaître au juste la cause, nous préférons ne pas nous étendre davantage sur ces phénomènes. Nous observons seulement que la plupart du temps le sens du courant est le même que pour les métaux qui ne s'oxident pas.

*Action des oxides en général sur l'eau oxigénée.*

Jusqu'à présent nous n'avons trouvé aucune différence dans les phénomènes électriques que l'on observe pendant l'action de l'eau oxigénée sur les oxides, soit que ces oxides se réduisent, se suroxident ou restent dans le même état. Le courant électrique va toujours dans le même sens ; il varie seulement d'intensité.

Opérons sur l'oxide d'argent, qui, comme on sait, se réduit promptement. On prend une bande de papier joseph que l'on humecte suffisamment avec de l'eau, pour que l'oxide avec lequel on le met en contact puisse s'attacher à sa surface. Ainsi préparée, on la fixe sur une lame

de platine, communiquant à l'une des extrémités du fil d'un galvanomètre. On évite soigneusement que la partie de papier qui est en contact avec le platine ne contienne de l'oxide d'argent. On plonge ensuite le papier dans une petite cuiller de platine renfermant de l'eau oxigénée : il se manifeste aussitôt un courant électrique qui va de l'oxide à l'eau oxigénée : ce courant, comme on voit, suit une direction opposée à celui que l'on observe dans le contact du peroxide d'hydrogène avec un métal.

On peut interpréter ainsi ce résultat : lorsqu'on met en contact l'oxide d'argent avec l'eau oxigénée, il se produit deux phénomènes : réduction de l'oxide et décomposition de l'eau oxigénée. Ces deux phénomènes doivent donner lieu chacun à un courant électrique : or, le courant qui provient de la réduction de l'oxide doit aller de l'oxide à l'eau oxigénée, attendu que l'argent, par suite du dégagement de l'oxigène qui était combiné avec lui, reprend aux corps environnans l'électricité négative qui doit former les atmosphères de ces particules ; l'électricité positive est donc repoussée dans le fil, et l'eau doit fournir l'électricité négative. L'eau oxigénée se comporte d'une manière opposée pendant sa décomposition ; par conséquent, le courant doit partir de l'oxide. Voilà donc deux effets contraires qui tendent à se détruire l'un l'autre, et l'on ne doit avoir en définitive qu'un courant électrique résultant de la différence de ces effets. C'est l'expérience seule qui peut déterminer celui des deux courans qui l'emporte sur l'autre. Nous avons trouvé que le courant le plus fort était celui produit par la réduction de l'oxide : ce qui doit être ainsi, puisque c'est l'action chimique la plus vive.

La potasse se comporte comme l'oxide d'argent dans son action sur le peroxide d'hydrogène; pour le démontrer, on prend un fragment de potasse caustique que l'on enveloppe à moitié de papier joseph, et que l'on fixe entre les branches d'une pince en platine; ensuite on opère comme ci-dessus. A peine la potasse a-t-elle touché l'eau oxigénée, qu'il se manifeste un courant électrique qui va de la potasse au liquide.

Or, pendant cette action il s'opère encore deux choses : dissolution de la potasse dans l'eau, décomposition prompte du peroxide d'hydrogène : il y a donc aussi deux courans qui s'ajoutent ou se retranchent, selon qu'ils vont dans le même sens, ou dans deux sens différens. Les phénomènes électro-dynamiques sont ici bien marqués.

*D'un nouveau Procédé pour reconnaître les effets électriques qui ont lieu pendant l'action chimique de deux dissolutions l'une sur l'autre, et de l'application qu'on peut en faire pour la détermination d'actions chimiques.*

Quoique nous ayons pris jusqu'à présent toutes les précautions possibles, dans nos recherches électro-chimiques, pour éviter les actions électro-motrices des vases de platine sur les liquides qu'ils renferment, cependant nous ne sommes pas assurés d'y être parvenus entièrement. Sans entrer de nouveau dans la discussion de cette question, nous allons donner un procédé à l'aide duquel on pourra observer les effets électro-dynamiques qui ont ordinairement lieu dans l'action chimique de deux dissolutions l'une sur l'autre, sans qu'il

soit nécessaire de mettre en contact les métaux avec des liquides hétérogènes.

Soient deux capsules *A*, *A'* en platine, renfermant toutes deux de l'acide nitrique concentré; *B*, *B'* deux autres capsules en porcelaine, dont l'une contient une dissolution de potasse, et l'autre de l'acide nitrique concentré : faisons communiquer *A* avec *B* et *A'* avec *B'* par le moyen de deux tubes recourbés en verre et remplis d'eau légèrement acidulée, pour qu'elle conduise facilement l'électricité; joignons enfin *B* et *B'* avec une mèche d'amiante, dont les extrémités plongent dans les dissolutions, et mettons dans les capsules *A* et *A'* les deux bouts en platine du fil qui forme le circuit d'un galvanomètre : d'après cet arrangement, chaque bout de fil en platine sera en contact avec un acide concentré au même degré; par conséquent, les actions électro-motrices seront égales de part et d'autre, et il n'en résultera aucun courant électrique sensible.

Il s'agit d'abord de reconnaître ce qui se passe dans le contact des liquides des capsules avec les liquides contenus dans les siphons. Nous allons faire voir que, bien qu'ils agissent quelquefois chimiquement les uns sur les autres, l'action chimique cesse au bout de quelques instans, et ils ne servent plus alors que de corps conducteurs.

### § I. *Expérience sur les actions capillaires et les actions chimiques combinées.*

Jusqu'à présent, les physiciens qui se sont occupés d'expériences sur les actions capillaires ont cherché à déterminer tout ce qui était relatif à l'élévation des li-

quides dans des tubes d'un très-petit diamètre, ou entre deux lames de verre formant entre elles un très-petit angle.

Il existe encore d'autres phénomènes dus en partie aux actions capillaires, et dont on n'a pas encore eu l'occasion de faire l'examen, parce qu'on n'en a pas senti la nécessité : ce sont les phénomènes produits simultanément par les actions capillaires et les actions chimiques.

On sait que l'attraction mutuelle des solides et des liquides, cause générale des phénomènes capillaires, se manifeste non-seulement dans l'état d'équilibre, mais qu'elle influe encore sur les mouvemens des liquides, dans les vases qui les renferment. C'est ainsi que l'on a reconnu que l'écoulement des liquides dans des tubes capillaires se trouvait modifié par l'attraction de ces liquides sur eux-mêmes et sur la matière des tubes, et qu'il devait être plus lent que par une ouverture de même diamètre, percée en minces parois. Il résulte de là que, si la force avec laquelle s'écoule le liquide est égale à celle qui produit l'action capillaire, le liquide reste stationnaire, et l'écoulement n'a pas lieu. Revenons actuellement aux faits dont nous avons besoin pour nos recherches électro-chimiques.

### PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Soient *A B*, *A' B'* deux vases en verre, le premier renfermant un acide concentré, et le second une dissolution de teinture de violette, l'un et l'autre liquide ayant le même niveau. Plongeons dans chaque vase l'une des extrémités d'un tube recourbé en verre *a, b, c,*

de un à deux millimètres de diamètre, et préalablement rempli d'eau distillée. Quoique l'acide et la teinture de violette communiquent ensemble par l'intermédiaire d'un canal non capillaire rempli d'eau distillée, néanmoins il y aura équilibre entre les forces qui émanent de l'action capillaire et celles qui tendent à opérer la combinaison des trois liquides; l'acide et la teinture n'éprouveront donc pas de déplacement sensible.

Si l'on remplace l'acide et la teinture de violette par deux autres liquides, tels qu'une dissolution de sulfate de fer, et une d'hydrocyanate de potasse, il n'y aura pas encore de déplacement sensible de liquide, quelle que soit la durée de l'expérience.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Nous venons de dire que les liquides contenus dans chaque vase ne passaient pas de l'un dans l'autre; il s'agit de reconnaître actuellement jusqu'à quelle hauteur ils s'élèvent dans chaque branche du siphon. Supposons qu'on ait versé de l'acide sulfurique dans l'un des vases, et de l'eau dans l'autre, et que le liquide intermédiaire soit également de l'eau; faisons passer dans le siphon une bande roulée de papier préparé à la teinture de tournesol; ensuite, faisons l'immersion. Au bout de quelques heures, la partie du papier qui se trouve du côté de l'acide sera rougie jusqu'à la distance d'un centimètre environ, et la teinte, à partir de l'extrémité, ira toujours en s'affaiblissant. Si l'un des liquides est une dissolution alcaline et l'autre un acide, on verra également que l'action de l'une et de l'autre sur le liquide intermédiaire

ne s'étend qu'à une distance assez rapprochée des extrémités du siphon.

Nous pouvons conclure de ces deux expériences que, par suite de l'action que le liquide contenu dans le siphon exerce sur lui-même et sur les parois du siphon, deux causes qui s'opposent au déplacement des molécules pour que l'action chimique ait lieu, les fluides des vases ne se combinent avec celui du siphon que jusqu'à une distance très-rapprochée des extrémités, et l'action chimique va donc toujours en diminuant jusqu'à un certain point où elle devient insensible. Deux liquides peuvent donc communiquer par l'intermédiaire d'un troisième, sans que celui-ci exerce sur chacun des deux autres des actions électro-motrices appréciables. Car l'action chimique, qui va toujours en s'affaiblissant, cesse bientôt d'exister; et alors les liquides ne sont plus directement en contact: ce contact existe bien par le fait; mais comme le mélange ou la combinaison chimique se fait par nuances insensibles, les deux liquides se fondent pour ainsi dire l'un dans l'autre, et ne donnent lieu à aucuns effets électriques assez sensibles pour être observés.

§ II. *Application de la méthode précédente à la détermination des effets électriques qui accompagnent certaines actions chimiques.*

Il est facile de vérifier par le procédé que nous venons d'indiquer ce qui se passe dans la combinaison des acides avec les alcalis. Il suffit de mettre un acide dans l'une des capsules de porcelaine, une dissolution alcaline dans l'artre, et de les faire communiquer ensemble avec

une mèche d'amiante : on trouve alors que le courant électrique va de l'acide à l'alcali, c'est-à-dire, que l'électricité positive est fournie par l'acide : résultat que nous connaissions déjà.

On peut aussi observer les effets électriques qui résultent de la dissolution des alcalis dans l'eau, sans qu'on ait à craindre d'actions électro-motrices de la part des liquides sur des vases ou des éponges de platine. On verse une dissolution très-légère de sel marin dans une des capsules de porcelaine, et dans l'autre de l'eau pure; on prend ensuite un fragment de potasse caustique que l'on fixe à l'extrémité d'une mèche d'amiante, à l'aide d'une bande de papier que l'on enroule dessus; on plonge l'autre extrémité dans la dissolution saline, puis l'on met en contact la potasse avec l'eau : il se manifeste alors un courant électrique qui va de la potasse à l'eau. Ainsi, quant aux phénomènes électriques, la potasse se comporte comme l'acide pendant son action sur la dissolution alcaline.

Nous avions trouvé des effets contraires (*Annales de Chimie*, tom. XXIV, pag. 350) en nous servant d'un autre procédé; mais aussi nous n'avions pas tenu compte de l'action électro-motrice du platine sur la dissolution de potasse, tandis qu'en opérant comme nous venons de l'indiquer, nous sommes débarrassés de cette action. Ce résultat semble ne pas s'accorder avec les idées généralement reçues, que l'eau joue le rôle d'acide par rapport aux alcalis; mais comme on observe souvent, dans les phénomènes électro-chimiques, des anomalies dont on ne peut pas encore bien se rendre raison, il est à présumer que lorsqu'on parviendra à les expliquer,

on découvrira aussi pourquoi la potasse, dans son action sur l'eau, produit les mêmes phénomènes électriques que les acides dans leurs combinaisons avec les alcalis.

Rien de plus simple, avec la méthode que nous venons d'exposer, que d'observer les effets électriques qui proviennent du contact des métaux sur les liquides, quand ce contact est ou n'est pas suivi d'une action chimique. On verse dans une des capsules de porcelaine un acide, et dans l'autre une dissolution alcaline; on plonge dans chacune d'elles l'une des extrémités d'une lame de platine, et l'on a alors un courant qui va de l'alcali à l'acide, parce que le métal a pris l'électricité négative dans son contact avec la dissolution alcaline, et l'électricité positive dans son contact avec l'acide; résultat inverse de celui qu'on obtient quand les deux liquides communiquent au moyen d'une mèche d'amiante.

Quand on veut voir ce qui se passe dans l'action chimique d'un acide sur un métal, on remplace la dissolution alcaline par de l'eau pure. On opère encore plus simplement en se servant seulement de deux capsules de porcelaine, dont l'une contient l'acide, et l'autre de l'eau; et faisant communiquer les deux liquides avec un tube recourbé qui renferme aussi de l'eau pure ou de l'eau légèrement acidulée.

On trouve qu'avec l'acide nitrique concentré le cuivre prend l'électricité positive, le zinc la même électricité; que l'acide sulfurique étendu d'eau communique au contraire l'électricité négative au zinc, etc.

En général, les effets électriques que l'on obtient par la méthode que nous venons d'exposer, sont moins

marqués que par celles dont nous avons fait usage précédemment. Cela tient à ce que les fluides en général sont moins bons conducteurs de l'électricité que les métaux ; le courant électrique éprouve donc des obstacles en traversant les liquides renfermés dans les siphons qui servent à établir la communication : il doit se former par conséquent une plus grande quantité de fluide neutre dans les dissolutions.

## § III. *Emploi des phénomènes électro-chimiques pour la détermination des actions chimiques.*

Jusqu'à présent, nos recherches ont été dirigées vers un but unique, la détermination des effets électro-dynamiques qui accompagnent les actions chimiques en général. Maintenant nous allons tâcher de nous servir des faits que nous avons trouvés, pour découvrir quand il y a action chimique dans le contact de deux corps.

Reprenons l'appareil qui a été décrit dans le dernier chapitre. Il est formé de quatre capsules ; celles des deux extrémités sont en platine ou en porcelaine, et remplies d'acide ; celles du milieu sont en porcelaine, et contiennent ordinairement les liquides que l'on veut faire agir l'un sur l'autre. Supposons que ces liquides soient tous deux de l'acide nitrique, et faisons communiquer la première avec la seconde, la seconde avec la troisième, avec des tubes de verre recourbés et remplis d'acide nitrique ; mettons les deux capsules extrêmes en communication avec les deux extrémités du fil qui forme le circuit d'un galvanomètre ; faisons communiquer enfin la seconde capsule avec la troisième, au moyen d'une

lame d'or : dans le premier instant, il se produira quelquefois un contact électrique, dû à la présence de corps étrangers qui adhèrent souvent à la surface des corps ; mais peu à peu il cessera : effectivement les choses doivent se passer ainsi, puisque tout est semblable de part et d'autre.

Ajoutons maintenant une seule goutte d'acide hydrochlorique dans la seconde ou la troisième capsule : l'or sera sur-le-champ attaqué par le bout qui plonge dans la capsule où l'on a formé de l'acide hydro-chloro-nitrique, et il en résultera un courant électrique qui ira de ce dernier acide au métal, résultat conforme à la théorie.

Nous obtînmes une fois de semblables effets, sans avoir versé de l'acide hydro-chlorique dans l'une des capsules de porcelaine. Nous en conclûmes de suite qu'il y avait eu action chimique, sans qu'il nous fût possible d'abord de dire comment elle était produite ; mais, après quelques recherches, nous reconnûmes que l'une des capsules avait contenu avant l'expérience une dissolution de sel marin, et qu'il en était resté sur ses parois : dès-lors il devint facile d'expliquer l'action chimique. L'hydro-chlorate de soude avait été décomposé en partie par l'acide nitrique; il en était résulté de l'acide nitreux, du chlore et du nitrate de soude. L'or se trouvait donc dans une circonstance favorable pour être attaqué ; et comme les phénomènes électro-dynamiques qui ont lieu alors sont rendus sensibles presqu'aussitôt que l'action chimique commence, on est donc averti de celle-ci par leur production.

Ce résultat nous met sur la voie pour constater la pré-

sence des hydro-chlorates et des nitrates dans les dissolutions.

Versons dans une capsule de porcelaine de l'acide nitrique pur, et jetons au fond une très-petite quantité d'or précipité de sa dissolution par le sulfate de fer; pour que ce métal soit très-divisé, mettons dans l'acide un fragment à peine sensible d'un hydro-chlorate quelconque : peu à peu l'or s'entoure d'un léger nuage jaune, signe certain qu'il a été attaqué: un cinquantième de grain d'un hydro-chlorate est rendu sensible par ce procédé.

En opérant d'une manière inverse, on constate la présence d'un nitrate dans un sel soluble. Il suffit de mettre l'or dans de l'acide hydro-chlorique pur et aussi blanc que possible, et d'y jeter ensuite le fragment de sel dans lequel est soupçonné un nitrate.

Il vaut mieux employer le sel solide que dissous dans l'eau, parce que l'acide étant étendu d'eau agit moins bien que lorsqu'il est concentré.

Nous ferons observer que la réaction du nitrate sur l'acide hydro-chlorique et l'or est moins prompte que celle des hydro-chlorates sur le même métal et l'acide nitrique; quelquefois elle exige plusieurs heures, surtout quand il y a très-peu de nitrate.

Il existe cependant un moyen d'accélérer cette réaction; mais comme les développemens qu'il exigerait demanderaient trop de détails, nous ne pouvons les donner dans ce Mémoire.

---

# DISCUSSION *relative à la Théorie de la chaleur rayonnante.*

PAR M. POISSON.

J'AI inséré, dans le Cahier de ces *Annales*, du mois de juillet dernier, un Mémoire où j'ai eu pour but d'exposer les principes qui servent de base à cette théorie, et les conséquences les plus générales qui s'en déduisent. Depuis sa publication, M. Fourier est revenu sur cette matière, dont il s'était précédemment occupé. Dans son nouveau Mémoire, qui fait partie du Cahier du mois de novembre, il a contesté, soit l'exactitude, soit la nécessité des raisonnemens sur lesquels je m'étais appuyé. Je me propose maintenant de répondre aux objections qu'on a faites. Mon desir, en entrant dans cette discussion, est d'éclaircir quelques points de la science qui ont encore paru susceptibles de difficultés.

Des expériences directes ont prouvé que la quantité de chaleur émise par un corps solide à travers un même élément de sa surface, n'est pas la même en tous sens, et qu'elle est proportionnelle, dans chaque direction, au cosinus de l'angle que cette direction fait avec la normale. C'est sous cette forme que la loi de l'émission s'énonce ordinairement; mais il est facile de voir qu'elle revient aussi à dire qu'en chaque point de la surface, un même cylindre, différemment incliné, renferme toujours des quantités égales de chaleur rayonnante. Cette loi est regardée comme indépendante de la nature de la surface, ou du moins je n'ai pas connaissance que

l'on ait trouvé jusqu'ici qu'elle changeât avec les circonstances relatives à la surface qui font varier l'intensité du rayonnement, et qu'elle se rapportât plutôt à tel état de la superficie qu'à tel autre. En l'admettant donc dans toute son étendue, jusqu'à ce qu'elle ait été démentie par l'observation, il en résultera que l'intensité du rayonnement, lorsqu'elle variera par l'effet de ces circonstances, devra augmenter ou diminuer, suivant le même rapport, dans la direction normale et dans toutes les directions inclinées. Il n'en est pas de même à l'égard des variations d'intensité provenant de la température : la loi d'émission que nous venons d'énoncer n'a été vérifiée que dans le cas des températures ordinaires; et il serait possible qu'elle ne fût plus la même à des degrés de chaleur très-élevés. C'est pourquoi les observations suivantes ne devront pas s'appliquer à ce dernier cas, que je n'ai pas non plus considéré dans le Mémoire cité plus haut.

La première conséquence qui se déduit de la loi du *cosinus* est celle-ci : si l'on a un espace de forme quelconque fermé par une enceinte solide, qui ne réfléchisse pas la chaleur, et dont les parois soient partout à la même température, il y aura aussi, dans toutes les parties de cet espace, une température égale et indépendante de sa forme. Après avoir rappelé que cette remarque avait déjà été faite, il y a plusieurs années, par M. Fourier, je me suis proposé de démontrer la même proposition dans le cas général où les parois de l'enceinte fermée réfléchissent la chaleur en des proportions qui varient arbitrairement d'un point à un autre.

Pour cela, il a d'abord fallu énoncer la loi suivant laquelle la chaleur est réfléchie ou absorbée, et son rapport avec la loi de l'émission. Or, on admet en physique que tous les corps, quelle qu'en soit la matière, dont la surface ne réfléchit aucun rayon de chaleur, émettent, à la même température, des quantités égales de chaleur; quantités qui sont alors à leur *maximum*, en sorte que ces corps émettent au dehors toute la chaleur qu'ils peuvent produire à cette température, et absorbent en même temps toute la chaleur qui vient tomber sur leur surface. Dès que le pouvoir réflecteur commence, la faculté d'émettre diminue, et ces deux propriétés varient en sens contraire, le cas extrême de la réflexion totale répondant à une émission tout-à-fait nulle. En suivant ces indications de l'expérience, on a supposé que l'absorption variait exactement dans le même rapport que l'émission. Désignons donc par $r$ la quantité de chaleur émise, dans une direction déterminée, par un élément de la surface d'un corps, lorsque la réflexion est nulle; supposons ensuite que, par un changement dans la nature de cette surface, cette quantité de chaleur soit réduite à $nr$, $n$ étant une fraction donnée; si le même élément reçoit, dans la direction que l'on considère, une quantité $r'$ de chaleur, il l'absorbera toute entière dans le premier cas, et dans le second, il n'en absorbera qu'une partie $nr'$, et réfléchira le surplus $r'(1-n)$, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. « La chaleur émise sera réduite dans le rapport » de $n$ à un dans toutes les directions; il en sera donc de » même à l'égard de la chaleur absorbée en tout sens, » et la totalité de cette chaleur se trouvera réduite à la

» fraction $n$ de celle qui tombe à chaque instant sur » l'élément. » Je transcris ici littéralement cette phrase de mon Mémoire (page 230), parce qu'elle a été l'objet des observations de M. Fourier. Il remarque avec raison que l'égalité de température en tous les points d'un espace fermé n'exige pas que la fraction $n$ soit égale dans toutes les directions, et qu'il suffit qu'elle soit la même dans chaque direction, par rapport à l'émission et relativement à l'absorption : aussi la démonstration que j'ai donnée de l'égalité de température ne suppose-t-elle nullement ni la constance ni la variabilité de cette quantité $n$; mais j'ai dit qu'elle était la même en tous sens, parce que j'ai regardé la loi de l'émission, proportionnelle au cosinus de l'inclinaison, comme donnée par l'expérience pour tous les états de la surface. On verra d'ailleurs, à la fin de cette discussion, qu'il y a une question plus générale que celle de l'égalité de température, dont la solution exige que l'on fasse une supposition quelconque sur la nature de cette fraction.

A la suite de la démonstration dont il s'agit, j'avais ajouté que si l'on regarde l'égalité de température en tous les points d'un espace fermé comme un fait donné par l'expérience, la loi suivant laquelle la quantité de chaleur absorbée dans une direction quelconque diminue suivant la même proportion que la chaleur émise, en sera une conséquence nécessaire. C'est aussi l'opinion que M. Fourier a énoncée dans plusieurs endroits de ses ouvrages. Mais, dans une addition que j'ai faite à mon Mémoire (1), j'ai modifié cette proposition en

(1) Cahier de ces *Annales*, du mois d'août dernier.

la restreignant au cas où l'on supposerait que tous les points de l'espace fermé devraient recevoir, pour que l'uniformité de température subsistât, des quantités de chaleur égales dans toutes les directions séparément : or, il n'est pas prouvé jusqu'à présent que cette condition soit indispensable, et qu'il ne suffirait pas que les quantités totales de chaleur reçues dans tous les sens fussent les mêmes pour tous ces points.

Venons maintenant à la démonstration de cette égalité de température dans toutes les parties d'un espace fermé, dont l'examen est l'objet principal de cet écrit.

M. Fourier observe qu'il ne s'est pas borné à remarquer que cette égalité est une suite de la loi du *cosinus* touchant l'émission de la chaleur rayonnante, dans le cas où la réflexion est supposée nulle ; qu'il a aussi démontré cette même proposition dans ses anciens Mémoires, en ayant égard à la fois à la réflexion et à l'émission. Cette démonstration m'était connue ; je l'avais d'abord crue suffisante (1) ; mais en y réfléchissant davantage, j'ai vu qu'elle pouvait se trouver en défaut : c'est pourquoi j'en ai donné une autre, dans laquelle j'ai fait entrer la considération des réflexions successives en nombre infini qui ont toujours lieu dans un espace fermé ; considération que je crois indispensable à la solution complète de la question. Voici en peu de mots la démonstration de M. Fourier, qu'il a reproduite dans son nouveau Mémoire.

Je suppose que l'on ait sous les yeux la figure 5

(1) *Bulletin de la Société philomatique*, année 1815, page 91.

relative à ce Mémoire : les droites $m_1n_1$, $m_2n_2$, $m_3n_3$, etc. sont normales aux élémens $\omega_1$, $\omega_2$, $\omega_3$, etc.; les lignes $om_1$ et $m_1m_2$ font des angles égaux avec la normale $m_1n_1$, et ces trois droites sont comprises dans le même plan; de même les trois lignes $m_1m_2$, $m_2m_3$ et $m_2n_2$ sont aussi dans un même plan, et les deux premières font avec la troisième des angles égaux; et ainsi de suite. Cela étant, et l'enceinte solide ayant par-tout la même température, supposons d'abord la réflexion nulle sur toutes ses parois. L'élément $\omega_1$ absorbe alors toute la chaleur $r$ qu'il reçoit dans la direction quelconque $om_1$, et qui lui est envoyée par un autre élément que cette droite prolongée irait rencontrer; il en émet une quantité égale dans la direction $m_1m_2$; et comme cela a lieu pour toutes les directions et pour tous les élémens que l'on voudra considérer, il en résulte que la température des parois est conservée, sans qu'il soit nécessaire qu'elle soit entretenue par des causes extérieures. On suppose ensuite que l'état de la surface de $\omega_1$ soit seul changé, de manière que la quantité de chaleur émise par cet élément dans la direction $m_1m_2$ soit réduite à $\alpha r$, $\alpha$ étant une fraction donnée; les autres élémens n'ayant pas changé, celui-ci continuera de recevoir une quantité $r$ de chaleur suivant la direction $om_1$; mais il n'en absorbera plus qu'une partie $\alpha r$, qui remplacera la chaleur émise suivant $m_1m_2$; et il réfléchira, dans cette direction, le surplus $r-\alpha r$ qui s'ajoutera à la chaleur émise $\alpha r$, et donnera la même quantité $r$ qu'auparavant; d'où l'on peut conclure que la température de $\omega_1$ ne sera nullement changée, non plus que celle des autres élémens auxquels il envoie de la

chaleur directement et par réflexion. On fait encore varier l'état de la surface d'un second élément $\omega_2$, puis on répète le raisonnement que nous venons de faire, et la conséquence qui s'en est suivie. On continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait changé la surface entière de l'enceinte, et l'on arrive à cette conclusion finale : que quel que soit le nouvel état de tous ces élémens, les quantités de chaleur envoyées au dehors par chacun d'eux, directement ou par réflexion, sont restées les mêmes, dans toutes les directions, qu'elles étaient primitivement, lorsqu'il n'y avait pas de réflexion. On démontre ensuite, comme dans le cas de la réflexion nulle, que tous les points de l'espace fermé recevront des quantités de chaleur égales, ou que la température de cet espace sera partout la même. Mais ces raisonnemens se trouveront en défaut toutes les fois que la série des élémens sur lesquels un même rayon de chaleur est successivement réfléchi, formera un circuit rentrant sur lui-même ; ce qui arrivera, par exemple, dès le second élément $\omega_2$, dont on aura changé la surface, si cet élément et le premier $\omega_1$ qu'on a déjà modifié sont tous deux perpendiculaires au rayon qui va de l'un à l'autre.

Pour le faire voir avec plus de clarté, substituons à ces élémens infiniment petits des surfaces planes d'une étendue finie, et supposons que l'enceinte solide soit un cylindre droit, dont nous appellerons *A* et *B* les deux bases perpendiculaires à sa longueur. La surface entière de l'enceinte est à la même température ; et dans toute son étendue, le pouvoir réflecteur est d'abord supposé nul. Dans cet état, chacune des deux bases émet, dans le sens normal, une même quantité de cha-

leur que nous représenterons par $p$; celle qui est émise par $A$ est absorbée par $B$, et *vice versâ*; et cet échange entretient l'égalité de température. Changeons maintenant la nature de la surface de $A$, de sorte que la chaleur normale qu'elle émet soit réduite à $mp$, $m$ étant une fraction donnée; la base $B$ lui enverra toujours une quantité de chaleur $p$, dont $A$ n'absorbera plus qu'une partie $mp$, et réfléchira vers $B$ l'autre partie $(1-m)\,p$; la base $B$ recevra donc la somme $mp + (1-m)p$ de quantités de chaleur émise et réfléchie, égale à $p$; elle l'absorbera toute entière, et l'égalité de température des deux bases sera encore maintenue. Changeons enfin la surface de $B$, et réduisons à $np$ la quantité de chaleur qu'elle émet normalement, $n$ étant une fraction qui pourra différer de $m$. Une partie $nmp$ de cette chaleur sera absorbée par $A$, et l'autre partie $(1-m)\,np$ sera renvoyée vers $B$, qui recevra, par l'émission de $A$ et par une première réflexion, une quantité de chaleur $mp + (1-m)\,np$, laquelle ne sera plus égale à $p$, comme dans le cas précédent; d'où il résulte que si l'égalité de température est conservée, ce ne pourra être qu'en ayant égard à la série infinie de réflexions qui auront lieu sur les deux bases. En appelant $A'p$ et $B'p$, les quantités de chaleur que recevront $A$ et $B$, provenant d'une émission directe ou de réflexions quelconques, les quantités de chaleur qu'elles perdront seront respectivement $(1-A')\,mp$ et $(1-B')\,np$; il faudra donc toujours prouver qu'on a $A'=1$ et $B'=1$, ce qui ne peut se faire qu'en formant les expressions complètes des coefficiens $A'$ et $B'$. Je supprime, pour abréger, le calcul de ces valeurs,

parce qu'elles se trouvent comprises dans le résultat général de mon Mémoire, que je vais citer tout-à-l'heure.

Cet exemple très-simple suffit pour montrer que le raisonnement de M. Fourier n'est pas applicable à tous les cas, et l'on voit aussi que, pour parvenir à démontrer complètement la proposition qu'il a voulu prouver, il est nécessaire de tenir compte de la série infinie de réflexions que chaque rayon de chaleur éprouve dans un espace fermé. Il ne me reste donc plus qu'à répondre à l'objection que ce savant a faite contre la démonstration que j'en ai donnée d'après cette considération. Cette difficulté est relative à la construction dont je me suis servi pour déterminer la quantité de chaleur émise ou réfléchie qui vient passer en un point quelconque $O$ de l'espace fermé; construction que M. Fourier a jugée *entièrement inadmissible*. Je n'aurai besoin, je crois, que de rappeler le principe de cette construction pour faire voir qu'elle suffisait à l'objet que j'avais en vue. Considérons, en effet, un cône circonscrit à deux élémens de l'enceinte solide (que j'ai nommés $\alpha$ et $\alpha'$ dans mon Mémoire), dont le sommet est un point $O'$, situé hors de l'espace fermé, derrière le premier élément. Il est évident que ce cône renferme tous les rayons de chaleur qui seraient envoyés par le second élément au sommet $O'$, si l'on supprimait le premier élément. Il est également vrai que si l'on rétablissait cet élément, et qu'il appartînt à une surface rigoureusement plane, tous ces rayons seraient réfléchis vers un même point $O$ de l'espace intérieur, dont on déterminera la position en abaissant du point $O'$ une perpendi-

culaire sur le plan de $\alpha$, et la prolongeant d'une quantité égale à sa longueur, dans l'intérieur de l'espace fermé. Maintenant, si $\alpha$ appartient à une surface courbe, je n'ignore pas sans doute que le point de concours des rayons réfléchis dépendra de la nature de cette surface ; on peut même ajouter qu'en général tous ceux de ces rayons qui auraient passé par le point *O*, dans le cas de la surface plane, n'iront plus se rencontrer en un même point ; mais si l'on a déterminé la position du point *O* en substituant à la surface de $\alpha$ son plan tangent, il sera toujours certain que ces mêmes rayons réfléchis iront tous passer par le point *O*, ou à des distances de ce point qui ne pourront être qu'infiniment petites ; ce qui suffira pour déterminer la température relative à ce point de l'espace fermé. D'après la définition que M. Laplace en a donnée, et que j'ai adoptée dans mon Mémoire, cette température n'a pas pour expression la somme des rayons qui viennent passer *mathématiquement* par le point donné ; elle est la densité de la chaleur rayonnante qui répond à ce point, laquelle densité s'obtient en prenant la somme des rayons qui remplissent autour de ce même point un volume quelconque *V*, et divisant cette somme par ce volume : et quand ce rapport variera d'un point à un autre de l'espace, il en faudra prendre la limite en faisant décroître *V* indéfiniment, comme cela se pratique dans le cas des fluides hétérogènes, et dans tous les cas semblables.

Non-seulement la démonstration que j'ai donnée de l'égalité de température, en tous les points d'un espace fermé, est exacte et applicable à tous les cas; mais la

considération des réflexions multiples sur laquelle elle est fondée peut seule donner une idée complète de ce phénomène, en faisant voir que les rayons de chaleur qui viennent aboutir en même temps en un point donné, et suivant une direction aussi donnée, sont partis de l'enceinte solide, à des instans différens. Elle rend aussi raison de cette autre proposition, qui paraît d'abord paradoxale, et suivant laquelle un corps introduit dans un espace fermé, où règne partout une égale température, pourra néanmoins s'y refroidir ou s'y échauffer avec des vitesses inégales, et suivant des lois différentes, selon qu'on l'aura placé dans un lieu ou dans un autre de cet espace, et selon que le pouvoir rayonnant des parois de l'enceinte sera plus ou moins grand (pag. 241 de mon Mémoire). Il faut enfin observer que l'égalité de température en tous les points d'un espace fermé n'est qu'un cas particulier du théorème général que j'ai démontré dans mon Mémoire, et que l'on peut énoncer ainsi :

Lorsque les températures et le pouvoir rayonnant des parois d'une enceinte solide varient d'une manière quelconque d'un point à un autre, on pourra faire abstraction de la chaleur réfléchie, pourvu que l'on considère un élément quelconque $\alpha$ de l'enceinte comme émettant, dans une direction donnée, une quantité de chaleur exprimée par la formule :

$$\left(n\theta + (1-n)\,n'.\theta' + (1-n)\,(1-n')\,n''\theta'' + \text{etc.}\right)\alpha \cos. t.$$

Pour rappeler la signification des lettres que cette formule renferme, j'emprunterai encore la figure 5 du Mémoire de M. Fourier, que j'ai décrite plus haut, et

je supposerai que $m_1$ soit le point auquel répond l'élément $\alpha$ que l'on considère, et que $m_1 o$ soit la direction donnée. Alors $i$ est l'angle compris entre cette droite et la normale $m_1 n_1$ au même point; $\theta$ la mesure de la chaleur qui serait émise suivant cette normale, si le pouvoir réflecteur était nul, cas dans lequel la chaleur émise suivant la direction inclinée $m_1 o$ aurait pour mesure $\theta \cos. i$; $n$ est la fraction qui exprime, suivant cette même direction, la diminution de ce *maximum* de chaleur due à l'état de la surface au point $m_1$, de sorte que $n \theta \cos. i$ est la mesure de l'émission qui a effectivement lieu suivant la direction $m_1 o$. Ces diverses mesures sont rapportées aux unités de temps et de surface, c'est-à-dire que $\theta$, par exemple, est la quantité de chaleur qui serait émise normalement, dans l'unité de temps, par une surface plane égale à l'unité, dénuée de pouvoir réflecteur, et qui aurait, dans toute son étendue, la même température qui existe au point $m_1$. Enfin les quantités $\theta'$ et $n'$, $\theta''$ et $n''$, etc., sont ce que deviennent les quantités $\theta$ et $n$ relativement aux points $m_2$, $m_3$, etc., et aux directions $m_2 n_2$ et $m_2 m_1$, $m_3 n_3$ et $m_3 m_2$, etc. La démonstration de ce théorème ne dépend pas de la construction qui a été précédemment le sujet d'une explication; elle exige seulement que l'on considère un filet cylindrique de chaleur, plié à tous les points $m_1$, $m_2$, $m_3$, etc., où se font les réflexions successives. En appelant $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, etc., les élémens de la surface de l'enceinte que ce filet intercepte en ces différens points, et $i$, $i'$, $i''$, etc., les angles que les normales $m_1 n_1$, $m_2 n_2$, $m_3 n_3$, etc., font avec les droites $m_1 o$, $m_2 m_1$, $m_3 m_2$, etc., les produits

$\alpha$ cos. $i$, $\beta$ cos. $i'$, $\gamma$ cos. $i''$, etc., seront tous égaux entre eux : ce qui pourrait servir à déterminer les rapports de $\beta$, $\gamma$, etc., au premier élément $\alpha$; mais celui-ci étant le seul qui entre dans la formule précédente, ces rapports ne sont pas nécessaires à connaître.

Dans le cas particulier où la température sera la même en tous les points de l'enceinte, les quantités $\theta$, $\theta'$, $\theta''$, etc., seront toutes égales entre elles; la formule précédente deviendra donc

$$\left(n + (1-n)\, n' + (1-n)(1-n')\, n'' + \text{etc.}\right) \theta \alpha \cos. i.$$

La série comprise entre les crochets est en général égale à l'unité; il n'y aurait d'exception que si les fractions $n$, $n'$, $n''$, etc., décroissaient indéfiniment, ce qui ne saurait arriver dans le cas d'un espace fermé de toutes parts et d'une étendue finie, ainsi que je l'ai déjà remarqué dans l'addition à mon Mémoire. La chaleur émise suivant la direction et par l'élément quelconque que l'on considère, sera donc égale à $\theta\,\alpha$ cos. $i$, ou la même que si le pouvoir réflecteur était nul sur toutes les parois de l'enceinte. On démontrera ensuite, comme dans le cas de l'absorption totale, l'égalité de température en tous les points de l'espace circonscrit par cette enceinte de nature quelconque. De cette manière, la démonstration de cette proposition se trouvera divisée en deux parties; au lieu qu'en considérant, dans mon Mémoire, un filet de chaleur d'une épaisseur croissante, plié aux points de l'enceinte où ont lieu les réflexions successives, j'avais réuni ces deux parties en une seule. L'une et l'autre manière de raisonner sont exactes, et ne présentent pas entre elles une différence essentielle.

Reprenons le cas général où les quantités $\theta$, $\theta'$, $\theta''$, etc., peuvent être différentes ; et supposons que l'on place au point quelconque $o$ de la ligne $m_1 o$, une surface infiniment petite, perpendiculaire à cette droite, et dont la grandeur soit représentée par $b$. La quantité de chaleur que l'élément $\alpha$ enverra à cette surface, soit directement, soit par réflexion, sera la somme de tous les rayons qui iront de tous les points de $\alpha$ à tous les points de $b$; à cause que les diverses directions de ces rayons s'écartent infiniment peu de la directiou $m_1 o$, cette somme sera proportionnelle à leur nombre et au facteur compris entre les crochets, dans la formule générale citée plus haut ; ou autrement dit, elle sera proportionnelle au produit de cette formule et de la surface $b$; d'un autre côté, les rayons émanés d'un même point de $\alpha$, allant continuellement en divergeant, cette même somme pour une même surface $b$, devra suivre la raison inverse du carré de sa distance $m_1 o$ à l'élément $\alpha$ : donc, en appelant $\rho$ cette distance, on aura la mesure de la quantité de chaleur en question, en multipliant la formule ci-dessus par un facteur de la forme :

$$\frac{kb}{\rho^2};$$

$k$ étant un coefficient indépendant de la nature des surfaces et de leur degré de chaleur. De plus, si $b$ représente la projection sur un plan perpendiculaire à $m_1 o$, d'une autre surface infiniment petite, passant par le même point $o$, inclinée sur ce plan, et représentée en grandeur par $a$, il est évident que $a$ recevra de $\alpha$ la même quantité de chaleur qui était envoyée à sa projection $b$; d'ailleurs

on aura $b = a \cos. u$, en désignant par $u$ l'angle compris entre la normale à la surface $a$ et la direction $om_1$; donc enfin, cette quantité de chaleur reçue par $a$ aura pour expression :

$$\left( nk\theta + (1-n)\, n'k\theta' + (1-n(\, (1-n')\, n''k\theta'' + \text{etc.} \right) \frac{a \cos. i \cos. u}{\rho^2}.$$

Dans cette formule, la partie

$$\frac{nk\theta\alpha a \cos. i \cos. u}{\rho^2}$$

exprime la chaleur émise directement par l'élément $\alpha$ dans l'espace terminé par l'espèce de cône, ou plus généralement par la surface développable circonscrite à cet élément et à la surface $a$; si donc $a$ appartient aussi à la surface d'un corps rayonnant, la quantité de chaleur que cet élément émettra dans ce même espace aura une valeur qui se déduira de la précédente, en y mettant à la place de $n$ et $\theta$, ce que ces quantités deviennent relativement au point $o$ de ce corps rayonnant : en désignant ces nouvelles quantités par $m$ et $\nu$, cette valeur sera :

$$\frac{mk\nu\alpha a \cos. i \cos. u}{\rho^2}.$$

L'élément $a$ n'absorbera qu'une fraction $m$ de la quantité totale de chaleur qui lui est envoyée par l'élément $\alpha$; par conséquent, dans la direction que l'on a considérée, la perte de chaleur à travers $a$ sera égale au produit de cette quantité totale, par le facteur $m$, retranché de la quantité précédente ; et en multipliant celle-ci par la série

$$n + (1-n)\, n' + (1-n)\, (1-n')\, n'' + \text{etc.},$$

qui est égale à l'unité, nous aurons, pour l'expression de cette perte de chaleur :

$$\left( nk(\nu-\theta)+(1-n)\,n'k(\nu-\theta')\right.$$
$$\left. +(1-n)(1-n')\,n''k(\nu-\theta'')+\text{etc.}\right)\frac{m\,\alpha\,a\cos.i\cos.u}{\rho^2}.$$

La distance $\rho$ n'entre qu'en apparence dans cette formule : on l'en fera disparaître en imaginant qu'on ait décrit une surface sphérique du point $o$ comme centre et d'un rayon égal à l'unité, et désignant par $\omega$ la portion de cette surface interceptée par le cône qui aurait son sommet au point $o$, et serait circonscrit à l'élément $\alpha$; au moyen de quoi l'on aura :

$$\frac{\alpha\cos.i}{\rho^2}=\omega.$$

En intégrant la formule précédente par rapport aux différens élémens $\omega$ de la surface sphérique, et étendant l'intégrale à toute la demi-sphère située au-dessus du plan tangent en $o$ à la surface du corps rayonnant, on aura la quantité de chaleur perdue en tous sens à travers $a$; intégrant ensuite par rapport aux élémens $a$ de cette dernière surface, on obtiendra la perte de chaleur correspondante à une portion quelconque de cette surface. Mais pour effectuer ces intégrations, il sera nécessaire de savoir comment les fractions $m$, $n$, $n'$, $n''$, etc. dépendent des inclinaisons auxquelles elles répondent; il faudra, par exemple, connaître les valeurs de $m$ et $n$ en fonction des angles $u$ et $i$ : or, le plus simple sera de supposer ces quantités constantes par

rapport aux inclinaisons ; ce qui revient, comme on l'a dit au commencement de cet écrit, à regarder la loi de l'émission proportionnelle au cosinus de l'inclinaison, comme donnée par l'expérience pour tous les états des surfaces. Il faudra aussi connaître la relation qui existe entre les quantités de chaleur $\nu$, $\theta$, $\theta'$, $\theta''$, etc., et les températures correspondantes ; mais en supposant que celles-ci ne soient pas très-élevées, on pourra, sans grande erreur, regarder les différences de ces quantités de chaleur comme proportionnelles aux différences des températures ; appelant donc $s$, $t$, $t'$, $t''$, etc. les températures qui ont lieu aux points $o$, $m_1$, $m_2$, $m_3$, etc., et désignant par $h$ un coefficient indépendant de la nature des surfaces et de leur degré de chaleur, il sera permis de faire :

$$k(\nu-\theta)=h(s-t),\ k(\nu-\theta')=h(s-t'),\ \text{etc.};$$

ce qui changera la formule à intégrer en celle-ci :

$$\Big(n(s-t)+(1-n)\,n'(s-t')$$
$$+(1-n)(1-n')\,n''(s-t'')+\text{etc.}\Big)hma\omega\cos.u;$$

dont l'usage n'exigera plus qu'on ait recours à de nouvelles données physiques, et ne présentera, dans chaque cas particulier, que des difficultés de géométrie et d'analyse.

Pour donner une application de cette formule, reprenons l'exemple que nous avons déjà considéré, où l'enceinte solide était un cylindre terminé par deux bases $A$ et $B$, perpendiculaires à sa longueur. Supposons la température et le pouvoir rayonnant constans dans toute l'étendue de $A$ ou de $B$, mais différens pour

ces deux bases. Supposons aussi la réflexion complète et l'émission nulle sur toute la surface latérale de ce cylindre, ce qui dispensera d'avoir égard à sa température. Cela étant, proposons-nous de déterminer la perte de chaleur éprouvée par la base entière $A$. Alors $a$ sera un élément de cette base; les quantités $s$ et $m$ appartiendront à tous ses points; les fractions $n$, $n'$, $n''$, etc. seront nulles dans toute l'étendue de la surface latérale; $t$ et $\theta$ répondront aux points de la base $B$; et comme il n'y aura jamais deux réflexions consécutives sur la même base, les fractions $n'$, $n'''$, etc., et les températures $t'$, $t'''$, etc., de rangs impairs, seront égales à $m$ et à $s$, et les quantités $n''$, $n^{IV}$, etc., $t''$, $t^{IV}$, etc., de rangs pairs, seront les mêmes que $n$ et $t$. La formule qu'il s'agit d'intégrer deviendra donc :

$$\left(1+(1-n)(1-m) + (1-n)^2(1-m)^2 + \text{etc.}\right) hmn(s-t)\,a\omega \cos. u\,;$$

ou bien, en remplaçant par sa valeur la progression géométrique comprise entre les crochets :

$$\frac{hmn(s-t)\,a\omega \cos. u}{1-(1-m)(1-n)}.$$

L'intégrale de $\omega \cos. u$, étendue à une demi-surface de sphère est égale au rapport de la circonférence au diamètre que nous représenterons à l'ordinaire par $\pi$; l'intégrale de $a$, étendue à la base entière que nous considérons, n'est autre chose que l'aire $A$ de cette base : donc la quantité de chaleur perdue par cette base aura pour valeur :

$$\frac{\pi hmnA(s-t)}{1-(1-m)(1-n)}.$$

Il est bien entendu que cette mesure se rapporte à l'unité de temps, et qu'elle suppose les températures $s$ et $t$ invariables : si elles variaient avec le temps, il faudrait multiplier cette formule par l'élément du temps, puis intégrer par rapport au temps entre des limites données, pour avoir la quantité de chaleur perdue par $A$ pendant l'intervalle compris entre ces limites.

On peut prendre le produit $\pi h m$ pour la mesure du pouvoir rayonnant de $A$; le produit $\pi h n$ sera la mesure de celui de $B$; et le coefficient $\pi h$ sera celle du pouvoir rayonnant *maximum*. En désignant ces trois mesures respectivement par $\gamma$, $\gamma'$ et $c$, la formule précédente deviendra

$$\frac{c\gamma\gamma' A(s-t)}{c^2-(c-\gamma)(c-\gamma')}.$$

Cette même quantité, prise avec un signe contraire, exprimera la chaleur perdue par l'autre base $B$, dont l'aire est aussi égale à $A$.

Cette formule pourra servir à résoudre le problème que j'ai indiqué à la fin de mon second Mémoire *sur la Distribution de la chaleur dans les corps solides* (1), et qui est relatif au refroidissement de deux barres disjointes, qui font un échange de chaleur par voie de rayonnement. En comparant sur ce point le calcul et l'observation, on vérifierait d'une manière nouvelle les lois de l'émission et de l'absorption de la chaleur rayonnante, et particulièrement la supposition suivant laquelle les fractions, telles que $m$ et $n$, sont indépendantes des inclinaisons.

(1) 19e Cahier du *Journal de l'Ecole Polytechnique*, p. 403.

## RECHERCHES *sur la Dilatation de l'eau par la chaleur, et sur la Température à laquelle correspond son* maximum *de densité.*

Par GUST. GABR. HÄLLSTRÖM,
Professeur de physique à Abo.

(Traduit des *Mémoires de l'Académie des Sciences de Suède* pour 1823, par M. *S...y.*)

IL est très-important pour beaucoup de recherches de physique, de connaître la relation qui existe entre le volume de l'eau et sa température, puisque l'un des élémens renfermés dans la question est le degré de chaleur auquel l'eau atteint sa plus grande densité. Aussi beaucoup de physiciens ont-ils cherché à déterminer avec le plus grand soin, pour ce liquide, les variations correspondantes de volume et de température; et, sous plusieurs rapports, leurs travaux nous ont procuré sur ce sujet des notions exactes et détaillées. Cependant, si l'on considère le peu d'accord que présentent les résultats donnés par différens auteurs, ou même les résultats obtenus par un seul physicien, suivant différentes méthodes d'observation et de calcul, on verra combien l'on est encore éloigné du degré de précision dont on a souvent besoin, et qui convient à l'état où les sciences physiques sont aujourd'hui parvenues.

Un examen des travaux relatifs au sujet qui nous occupe, basé sur des calculs exacts, loin d'être superflu, nous conduit à cette conclusion : que de nouvelles recherches sont indispensables, si l'on veut arriver aussi

près de la vérité que la nature de la question l'exige et le permet. Je soumets avec respect au jugement de cette Académie la discussion et les expériences que ces considérations m'ont fait entreprendre.

*Exposé historique des travaux antérieurs sur le même sujet.*

Les résultats des observations les plus exactes sur la température de l'eau parvenue à son *maximum* de densité, diffèrent encore beaucoup entre eux. Biot (Physique, 1816, tom. I, pag. 263) affirme, à la vérité, que toutes les déterminations sont comprises entre 3°33 et 4°44 cent.; mais nous possédons des recherches dont les résultats s'écartent beaucoup de ces limites. Il suppose en outre que ces différences proviennent de quelques défauts dans les thermomètres employés aux observations, tandis que Kastner les attribue à des différences dans l'état du baromètre et de l'hygromètre. Quand on accorderait que ces circonstances peuvent n'être pas sans influence sur le résultat, on doit voir que les erreurs dépendent principalement des trois causes suivantes : 1° la manière de disposer les expériences; 2° la correction que l'on doit appliquer au résultat pour tenir compte de la dilatation du corps étranger que l'on emploie; 3° enfin la manière plus ou moins exacte de calculer ce résultat. Ce sont donc là les principaux points sur lesquels doit porter une discussion attentive.

La première méthode qui conduisit à mesurer la dilatation de l'eau par l'élevation de la température, est, je crois, due à Deluc. Il observait, pour différens de-

grés de chaleur, la hauteur de l'eau dans un tube thermométrique un peu fort et terminé à l'extrémité inférieure par une boule. La simplicité de ce procédé est évidente; mais son exactitude laisse quelques doutes et mériterait certaines vérifications. En effet, quand bien même on aurait un tube parfaitement calibré, ce qui est difficile lorsqu'il s'agit d'une échelle un peu longue et que l'on veut pousser la précision jusqu'à de petites fractions de degré, encore ne pourrait-on ni détruire, ni calculer l'adhérence du liquide aux parois du tube, et la diminution qui en résulte dans la hauteur de la colonne d'eau due à la seule action de la température. Dans des recherches exactes, on ne doit pas non plus négliger la petite portion d'eau qui se sépare de la masse liquide, et se réduit en vapeurs dans le tube. Toutes ces considérations conduisent à regarder cette méthode comme une des moins sûres. Cependant Biot lui donne une attention particulière, et semble préférer les résultats qu'elle fournit à ceux de toutes les autres. (*Phys.*, p. 234 et 423.) Dalton l'emploie également. Blagden et Gilpin, au contraire, se servent d'un vase de 2$^{pouc.}$,8 de diamètre, qu'ils remplissent jusqu'à une certaine hauteur d'eau à différentes températures. Ils mesurent les variations de volume par les variations de pesanteur spécifique. Il n'y a point d'objections à faire à cette méthode, si l'on admet que ces habiles observateurs aient surmonté tout ce qu'il y a de difficultés à verser l'eau, à l'échauffer, ou à la refroidir pour l'amener à une température déterminée et partout égale; enfin, à maintenir le verre bien sec au-dessus de la surface liquide. Quoique cette méthode soit une des plus pénibles et des plus

difficiles, les résultats qu'elle a fournis aux physiciens que l'on vient de citer sont certainement au nombre des plus exacts.

Le procédé imaginé et suivi par le comte de Rumford consiste à échauffer avec une boule métallique les couches supérieures d'une masse d'eau à 0°, dans laquelle un thermomètre est plongé. L'eau échauffée descend au fond en vertu d'un accroissement de pesanteur spécifique, jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température de sa plus grande densité. Parvenue à ce degré, elle reste en repos.

Trallés et Hope ont perfectionné cette méthode, en plongeant deux thermomètres, l'un à la surface, l'autre au fond de la masse liquide, et en observant pour quel degré l'un et l'autre indiquent la même température. Le procédé est aussi ingénieux que simple et facile. Cependant il sert plutôt à prouver que l'eau acquiert sa plus grande densité quelques degrés au-dessus du point de congélation, qu'à déterminer avec la dernière exactitude le degré auquel ce *maximum* a lieu.

Les variations de pesanteur de l'eau très-près du *maximum*, sont si petites qu'elles ne peuvent nullement être comparées aux variations correspondantes de température ; et si l'on voulait apprécier ainsi ces dernières variations avec une grande exactitude, il faudrait atteindre le point où la masse liquide aurait une densité si parfaitement égale dans toute son étendue, qu'il ne restât plus la moindre force pour en faire monter ou descendre aucune portion.

On s'explique ainsi les différences que présentent

les résultats obtenus de cette manière : par exemple, Rumford a trouvé une fois 39° $\frac{7}{8}$ f. = 4° 38 c. Une autre fois 38° $\frac{1}{4}$ f. = 3° 47 c. Le thermomètre de Trallés indiquait environ 3°,35 c., celui de Hope 3°,33, 3°,88 et 4°,16 c. Ekstrand a aussi obtenu des valeurs inégales, quoiqu'entre des limites plus rapprochées, 3°,6 et 3°,9 c.

Il suit de là qu'entre 3°,3 et 4°,38 c. l'eau ne change pas assez de densité pour qu'il en résulte des mouvemens d'ascension et de dépression sensibles, et que par conséquent cette méthode n'est pas aussi applicable à la détermination de la température du *maximum* de densité, qu'on pourrait le croire au premier coup-d'œil. Cependant, si l'on varie les expériences de manière à observer la température, une fois lorsque l'eau monte, une autre fois lorsqu'elle descend, et que l'on combine un nombre égal de résultats de chaque sorte, il est probable que les erreurs se compenseront presqu'exactement : aussi, la moyenne des valeurs citées précédemment, qui est égale à 3°,88 c. ne diffère-t-elle pas beaucoup de la valeur exacte, sur laquelle cependant il resterait une grande incertitude, si on voulait l'asseoir sur une telle détermination.

La méthode la plus sûre que l'on puisse employer consiste, sans aucun doute, à peser un corps dans une masse d'eau dont la température est connue, soit, d'ailleurs, que ce corps ait la forme d'un aréomètre et porte une capsule propre à recevoir des poids, soit qu'on le suspende au moyen d'un cheveu très-fin au bras d'une balance. Avec l'aréomètre, l'exactitude est limitée par la finesse et la légèreté de la tige; et comme un cheveu sera toujours infiniment plus léger et plus fin, il est clair que

ce moyen de suspension doit donner la valeur de la pesée la plus exacte. Pour ne pas s'exposer, en suivant ce procédé, aux erreurs que la méthode de Rumford et de Trallés évite difficilement, les expériences doivent être faites à des distances de l'échelle thermométrique assez considérables de part et d'autre du point relatif au *maximum* qu'il s'agit de déterminer, et que l'on peut supposer connu d'avance avec une approximation suffisante.

Schmidt et Charles se servaient d'aréomètres ; Lefèvre Gineau pesait dans l'eau un cylindre creux de laiton ; Bischof une boule de verre également creuse. Ce dernier observateur a aussi employé le procédé de Gilpin. Enfin, dans mes premiers essais, je me suis servi d'une boule de verre massif.

A l'exception de la méthode de Trallés et de Rumford, toutes les autres exigent que l'on applique au résultat une correction dépendante de la dilatation du corps plongé. Pour introduire cette correction, on a fait deux suppositions, d'où provient, sans aucun doute, la plus grande partie des différences que présentent les valeurs obtenues.

En effet, on a admis que toutes les espèces de verres, et dans l'expérience de Lefèvre Gineau, toutes les espèces de laiton éprouvent une dilatation égale; que cette dilatation dépend de la température, suivant un rapport simple et constant; que par conséquent des variations d'un même nombre de degrés, soit que la température s'élève ou qu'elle s'abaisse, produisent des variations de volume exactement égales ; et quoique la nature de la question exigeât que l'on connût par des moyens exacts

la dilatation de l'espèce de verre ou de laiton employée dans l'expérience, surtout dans les premiers degrés de l'échelle thermométrique, on s'est contenté des données connues sur la dilatation d'autres sortes de verre, conclues le plus souvent d'observations faites aux températures extrêmes 0 et 100° c. Ainsi Biot, dans la correction relative aux expériences de Charles et Deluc, s'est servi des nombreux résultats que l'on doit à Lavoisier et Laplace sur la dilatation linéaire du verre; et il fait, d'après eux, cette dilatation, pour 100° c., = 0,00087572. Blagden et Gilpin adoptent la valeur 0,0007758, donnée par Roy pour le même coefficient. Enfin Schmidt et Bischof le supposent égal à 0,0008, valeur moyenne entre beaucoup de valeurs différentes. Enfin, je dois blâmer, dans mes premières expériences, l'emploi d'une boule de verre massive, qui, ayant près d'un pouce de diamètre, ne pouvait pas prendre assez rapidement la température de l'eau environnante. J'ajouterai que j'employais, pour estimer sa dilatation, les mesures faites par Deluc sur des tiges de verre d'autre nature, et non pas les valeurs propres à sa composition particulière, et déduites d'expériences directes.

Il paraît donc qu'aucune des séries d'observations faites jusqu'ici sur la dilatation de l'eau n'a été calculée avec la correction convenable : cela doit sans doute exciter une juste défiance ; car si la fusibilité du verre dépend, comme on le sait, de sa composition chimique, sa dilatation doit en dépendre également, même dans les basses températures : ce qui d'ailleurs paraît résulter des recherches de Lavoisier.

Cependant, avant d'attribuer entièrement les diffé-

rences des résultats à l'inexactitude des corrections relatives à la dilatation du verre, on doit encore rechercher si la méthode employée pour calculer les valeurs brutes des observations n'a pas pu introduire des erreurs dans le résultat définitif. Or, on peut affirmer qu'en général le système de calcul et d'interpolation appliqué aux séries d'expériences était très-imparfait, et nullement propre à faire ressortir le résultat le plus probable. Il est évident qu'une valeur moyenne déduite de plusieurs observations acquiert d'autant plus de probabilité, que l'on en fait concourir un plus grand nombre à sa détermination. Si donc, suivant l'ancienne méthode d'interpolation, que ce soit un défaut inhérent à la méthode, ou une mauvaise manière de l'appliquer; si, dis-je, suivant cette méthode, on n'emploie qu'un petit nombre des résultats donnés par l'expérience, on se prive de l'avantage que présente, sous le rapport de la certitude, l'emploi d'une grande quantité d'observations différentes. La méthode des moindres carrés, dont l'usage est indispensable dans les recherches physiques, me paraît seule donner le résultat le plus probable d'une série d'expériences.

Sur les 17 observations faites par Deluc, Biot en choisit trois seulement; et de là, par une interpolation ordinaire, il tire, pour la valeur de la dilatation corrigée de l'eau entre o et T° Réaumur, cette expression

$$-0{,}000054878\,T + 0{,}0000101395\,T^2$$
$$-0{,}0000002708\,T^3.$$

Cette formule donne pour le *maximum* de densité :

$$+2°,736.R = 3°,42\,c.$$

Ekstrand se servant des mêmes expériences, en choisit quatre; il emploie les corrections données par Biot, et enfin il trouve, pour représenter la dilatation de l'eau, l'expression :

$$-0{,}00065901\,T + 0{,}00011785\,T^2 - 0{,}0000008239\,T^3 :$$

La plus grande densité aurait donc lieu à

$$2^{\circ}, 88\,R = 3^{\circ}, 60\,c.$$

On voit combien ce dernier résultat varie, dès que l'on part dans les calculs de données un peu différentes. Du reste, le procédé d'Ekstrand est loin d'avoir la perfection qu'il lui attribue.

Biot, sans avoir égard à la dilatation du verre, représente le nombre des degrés (T) du thermomètre à eau de Deluc, par l'équation.

$$(T) = -0{,}16\,T + 0{,}0185\,T^2 - 0{,}00005\,T^3.$$

(T étant le nombre de degrés correspondans du thermomètre à mercure).

Ekstrand trouve cette autre équation :

$$(T) = -0{,}189\,T + 0{,}02255\,T^2 - 0{,}0001583\,T^3 + 0{,}00000078\,T^4$$

La méthode des moindres carrés, lorsque l'on emploie les 17 observations de Deluc, conduit à cette relation différente :

$$(1)\ (T)'' = -0{,}10726\,T + 0{,}016871\,T^2 - 0{,}0000382\,T^3$$

---

(1) Ce résultat est exactement celui que donne Paucker dans son ouvrage intitulé : *De l'Application de la mé-*

Les équations finales sont en effet :

$$o = +24303,7 - 29183,5a - 1924337,5b - 131996687c.$$
$$o = -29183,5 + 37400a + 2312000b + 152405000c.$$
$$o = -1924337,5 + 2312000a + 152405000b + 10461800000c$$
$$o = -131996687 + 152405000a + 10246180000b + 7384396200c.$$

Soit $S$ la somme des carrés de toutes les autres erreurs ; si les déterminations de $a$, $b$, $c$ ont le même degré de certitude que la moyenne arithmétique entre toutes les observations directes $j'$, $j''$, $j'''$ (*voyez* Bessel, *Fundamenta Astronomiæ*, Konigsberg, 1818, pag. 116) : en appelant $\varepsilon''$, $\varepsilon''a$, $\varepsilon''b$, $\varepsilon''c$ les erreurs les plus probables des observations et des valeurs de $a$, $b$, $c$, on obtient :

$a = -0,10726$ ; pour $j' = 369,2$ et $\varepsilon''a = 0,01041$
$b = +0,016871$ ; $j'' = 260179$ ; $\varepsilon''b = 0,000392$
$c = -0,0000382$ ; $j''' = 32249459$ ; $\varepsilon''c = 0,0000035$
$S = 1,408$ et $\varepsilon'' = 0°,20R.$

L'erreur d'observation la plus probable qui est ici 0°,2 R. est trop grande pour être une simple erreur de lecture. Cela confirme les remarques précédentes sur l'insuffisance du procédé de Deluc, lorsqu'il s'agit d'obtenir une détermination très-exacte du *maximum* de densité de l'eau. En effet, la dernière formule donnerait

| | |
|---|---|
| Pour $T = 0$ | $(T''') = 0,00$ |
| 1 | $= 0,09$ |
| 2 | $= -0,15$ |
| 3 | $= -0,17$ |
| 4 | $= -0,16$ |
| 5 | $= -0,14$ |
| 6 | $= -0,04$ |
| 7 | $= +0,06$ |
| 8 | $= +0,20$ |

---

*thode des moindres carrés aux recherches physiques*. Mittau, 1819.

Ainsi, entre les valeurs $T=0$, $T=8$, c'est-à-dire, bien au-delà des limites entre lesquelles on doit chercher le *maximum*, aucune valeur de $(T)''$ ne surpasse l'erreur probable d'observations, erreur à laquelle doit s'ajouter encore celle que l'on commet sans doute sur la correction rélative à la dilatation du verre.

Si l'on transforme l'équation $(T)''$, comme le fait Biot, et en adoptant pour la dilatation du verre le coefficient qu'il emploie, on trouve pour le volume $V$ de l'eau à $T^{\circ}$ Réaumur, l'expression

$$V = 1 - 0{,}00002564T + 0{,}00000924777T^{2} \\ - 0{,}0000000002065T^{3}.$$

Le volume de l'eau à la température 0° est pris pour unité.

Cette expression donne, ainsi que Paucker l'a déjà remarqué, pour la température qui correspond au *maximum* de densité de l'eau, $+1^{\circ},41$ R. ou $+1^{\circ},76$ c., valeur évidemment inexacte. On est donc conduit à regarder comme fondées les objections faites précédemment contre les expériences de Deluc et les résultats que l'on peut en tirer.

Les expériences de Blagden et de Gilpin ont été calculées de plusieurs manières. Ces physiciens n'ont fait d'observations directes que de 5 en 5° du thermomètre de Fahrenheit, depuis le 35$^{me}$ jusqu'au 100$^{me}$ degré. Les valeurs pour chaque degré ont été conclues par interpolation et en tenant compte des secondes différences. Blagden et Gilpin ont ainsi trouvé que la pesanteur spécifique de l'eau est la plus grande entre 38, 39 et 40° Fahrenheit, et qu'elle diminue uniformément de part et d'autre de ce

point jusqu'à 34 et 44°. Relativement à cette détermination, Biot paraît avoir admis, sans nouveau calcul, que les expériences des deux physiciens anglais placent le *maximum* de densité de l'eau à 39° Fahrenheit ou 3°,89 c. Th. Young adopte également ce résultat; l'expression de la dilatation d'un volume d'eau, à partir de 3°,89 cent., est alors (T représentant des degrés centigrades)

$$=0{,}00007128\,T^2-0{,}0000002536\,9T^3.$$

(*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. I, p. 107.)

Cependant, si l'on considère que déjà la diminution de pesanteur spécifique est plus grande de 34 à 32° F. que de 44 à 46°, on verra facilement que la température de 39° F. assignée au *maximum* de densité a besoin d'une correction. Si, pour y avoir égard, on emploie le calcul d'Eytelwein, qui regarde les différences secondes comme constantes, on trouve pour la valeur de la pesanteur spécifique à T° Réaumur.

$$(S)=1{,}0009234+0{,}0000377\,16T-0{,}00000908653T^2$$

(en supposant (*S*) ou la pes. spécifi.=1 à 60° Fahr.)

Cette expression place le *maximum* de densité de l'eau à 2°,075 R=2°,59c., c'est-à-dire, 1°,30 c. au-dessous du point que donne l'interpolation de Gilpin.

L'erreur la plus grave dans le calcul d'Eytelwein provient de ce que, pour obtenir les différences secondes constantes, il a négligé l'observation faite au-dessous de 40° Fahr., ce qui paraît avoir une influence plus nuisible sur le résultat, que de mêler, comme l'a fait Gilpin, les valeurs déduites de l'interpolation avec celles que l'expérience donne directement. En effet, dans le premier cas, toutes les quantités qui entrent dans le calcul comme

données de l'observation, se trouvent d'un même côté du *maximum* cherché, et doivent par conséquent laisser sur le résultat plus d'incertitude que n'en comporterait la combinaison de valeurs prises de part et d'autre de ce point. La même erreur se retrouve dans le calcul qu'a fait Walbeck des expériences de Gilpin; et de plus, il a négligé les puissances des températures qui surpassent la seconde. Ces deux causes influent d'une manière si fâcheuse sur le calcul que, si on l'achève par la méthode des moindres carrés, on arrive à trouver le *maximum* de densité à 32°,8 Fahr. = 0°,44 c., valeur tout-à-fait fausse, qui résulte aussi de l'équation donnée par Walbeck :

$$(S) = 0{,}999417 + 0{,}00010296\, F. - 0{,}0000015693\, F^3,$$

*F* est le nombre des degrés de Fahrenheit et

$$(S) = 1 \text{ pour } F. = 60° \text{ Fahr.}$$

Plus ces résultats diffèrent entre eux, plus il semble important de soumettre à un calcul rigoureux les expériences précises desquelles on les a déduits. On ne peut sans doute ne pas blâmer les lacunes que présentent ces expériences; et le peu d'attention que l'on a mis à suivre les changemens qu'éprouve l'eau entre le point de congélation et celui de sa plus grande densité. On ne trouve en effet entre ces deux points qu'une seule observation à 35° Fahr., ce qui ne forme pas un contre-poids suffisant à toutes les autres observations. Il peut cependant n'être pas inutile de chercher ce que donne l'ensemble des 14 expériences de Gilpin. En leur appliquant la méthode des moindres carrés, et en conservant la 3<sup>me</sup> puissance des températures, j'ai obtenu le résultat sui-

vant : La pesanteur spécifique de l'eau, prise pour unité à la température de 60° Fahr., est exprimée en fonction de l'indice $n$ de la température observée, cette température étant comptée, à partir de 60° Fahr., et représentée par l'expression $60° \pm 5n$.

Les équations finales sont :

$$0 = 0{,}00010 + 0{,}15271\,a + 0{,}85143\,b + 6{,}44779\,c.$$
$$0 = 0{,}15271 + 259a + 1071\,b + 9751\,c.$$
$$0 = 0{,}86143 + 1071a + 9751\,b + 57351\,c.$$
$$0 = 6{,}44779 + 9751a + 57351\,b + 467479\,c.$$

On en déduit :

$a = -0{,}00043083$; pour $j' = 498273$ et $\varepsilon''\,a = 0{,}0000013$
$b = -0{,}00004581$; $j'' = 2432{,}9$; $\varepsilon''\,b = 0{,}000000186$
$c = +0{,}000000834$; $j''' = 45880$; $\varepsilon''\,c = 0{,}000000043$
$S = 0{,}0000000024$; $\varepsilon'' = 0{,}0000092$;

d'où

$$(S) = 1 - 0{,}0004308\,n - 0{,}0000458\,1n^2 + 0{,}000000813\,n^3.$$

Le *maximum* de $(S)$ est donné par l'équation

$$\frac{d(S)}{dn} = 0 = -0{,}0004308 - 0{,}00009172\,n + 0{,}000002439\,n^2.$$

Une racine de cette équation est $n = -4{,}226$; ce qui donne, pour la température relative au *maximum*, $60° + 5n = 38°{,}87$ Fahr. $= 3°{,}817$ c.

Il paraît donc que la correction qui convient aux valeurs approchées de Young et de Biot est $-0°{,}073$ c. L'extrême petitesse de l'erreur probable d'observation nous prouve que les expériences de Gilpin méritent parfaitement le haut degré d'estime qu'on leur accorde. Il est à regretter que l'on ne sache pas si les valeurs obtenues ont subi une correction convenable pour la dila-

tation du verre, et par conséquent si l'on peut entièrement compter sur l'exactitude du résultat définitif.

Les expériences de Schmidt, qu'il a lui-même interpolées dans la supposition des différences secondes constantes, et qu'Eytelwein a aussi calculées dans la même hypothèse, présentent un accord moins parfait. Le dernier les représente par la formule

$$(S) = 0,9999707 + 0,00003369\,T - 0,000007235\,T^2,$$

où la pesanteur spécifique de l'eau à la température de $3^\circ,48$ R. est prise pour unité. On en déduit, pour la température du *maximum* de densité,

$$+2^\circ,33\,\text{R.} = 2^\circ,91\,\text{c.}$$

En appliquant aux expériences de Schmidt la méthode des moindres carrés, et conservant les troisièmes puissances des températures, je représente les variations de densité de l'eau entre $0^\circ,75$ et $30^\circ$ par la formule

$$(S) = 0,0003737\,T - 0,00003183\,T^2 + 0,00000046\,T^3,$$

où la densité $(S)$ à $15^\circ$R est prise pour unité. On tire de l'équation précédente :

$$\frac{d(S)}{dT} = 0 - 0,0003737 - 0,00006366\,T + 0,00000138\,T^2,$$

en sorte que la racine $T = 6^\circ,90$ R $= 8^\circ,63$ c. devrait correspondre au *maximum* de densité de l'eau. L'énorme déviation de ce résultat, aussi-bien que la valeur très-forte des erreurs probables d'observation (qui égale ici $+0,0002$, c'est-à-dire, environ vingt-deux fois l'erreur probable des expériences de Gilpin) conduisent à regarder les essais de Schmidt comme infructueux.

Biot vante les expériences de Charles comme tout-

à-fait exactes. Il les a calculées et représente le volume $(V)$ de l'eau à T°R. par cette formule :

$$(V) = -0{,}00006207\,T + 0{,}000010193\,T^2 - 0{,}000000036\,T^3\,;$$

d'où il suit que le *maximum* de densité a lieu pour T = 3°,19 R. = 3°,99 c. Ces expériences étant données sans correction pour la dilatation propre du verre employé, il est inutile, dans le but que je me suis proposé, de leur appliquer un mode de calcul plus précis. Il faudrait en effet s'appuyer sur les valeurs incertaines de la dilatation du verre, déjà employées par Biot et Paucker. Ce dernier trouve T = 3,11 R. = 3°,88 c.

Les résultats donnés par Bischof ne méritent pas une grande confiance. On voit avec évidence qu'il a arrangé certaines valeurs pour obtenir des différences secondes constantes. On n'apporterait donc aucun éclaircissement à la question en les soumettant de nouveau au calcul. Lui même annonce avoir trouvé que le *maximum* de densité de l'eau a lieu à 3°,25 R. = 4°,06 c. Résultat qu'il faut plutôt attribuer à un heureux hasard, qu'à l'exactitude de ses expériences.

Mes anciennes observations me donnaient la plus grande densité à 4°,35 c. Elles ne méritent pas plus que les précédentes d'être calculées de nouveau ; non qu'elles aient été faites avec trop peu de précision, mais parce que la correction de dilatation propre au verre employé est trop incertaine.

La table suivante est un résumé des expériences et des calculs dont l'objet a été la recherche de la température

pour laquelle la pesanteur spécifique de l'eau est un *maximum*, et que je viens d'examiner successivement.

| Observateurs. | Calculateurs. | Température à laquelle a lieu le *maximum* de densité. |
|---|---|---|
| Deluc ........ | Biot.......... | 3°,42 cent. |
| ............ | Ekstrand...... | 3,60 |
| ............ | Paucker....... | 1,76 |
| ............ | Hällström..... | 1,76 |
| Dalton........ | Dalton........ | 2,22 |
| ............ | Biot.......... | 4,35 |
| Gilpin........ | Young......... | 3,89 |
| ............ | Biot.......... | 3,89 |
| ............ | Eytelwein..... | 2,59 |
| ............ | Walbeck....... | 0,44 |
| ............ | Hällström..... | 3,82 |
| Schmidt....... | Eytelwein..... | 2,91 |
| ............ | Hällström..... | 8,63 |
| Charles....... | Biot.......... | 3,99 |
| ............ | Paucker....... | 3,88 |
| Lefèvre Gineau. | Lefèvre Gineau. | 4,44 |
| Hällström..... | Hällström..... | 4,35 |
| Bischof....... | Bischof....... | 4,06 |
| Rumford....... | Rumford....... | 4,38 |
| ............ | ............ | 3,47 |
| Tralles ....... | Tralles....... | 4,35 |
| Hope.......... | Hope.......... | 3,33 |
| ............ | ............ | 3,88 |
| ............ | ............ | 4,16 |
| Ekstrand...... | Ekstrand...... | 3,60 |
| ............ | ............ | 3,90 |

*2°. Nouvelles Recherches sur le même sujet.*

On voit combien sont peu précises les notions que l'on possède sur la température de la plus grande densité de l'eau, comme sur la dilatation de ce liquide par la chaleur. Les unes et les autres sont loin de satisfaire aux recherches nombreuses et importantes dont elles sont un élément indispensable; il est donc nécessaire de soumettre ces questions à de nouvelles expériences.

Pour éviter les erreurs signalées dans les recherches antérieures, il était avant tout important de déterminer de nouveau tous les élémens qui peuvent avoir de l'influence sur le résultat. Le procédé que j'ai adopté comme le plus sûr consiste à peser une petite boule creuse de verre dans de l'eau, à différentes températures. On introduit dans la boule de petits poids suffisans pour qu'étant hermétiquement fermée, elle s'enfonce, en s'échauffant, dans le liquide avec un très-léger excès de pesanteur. Ce procédé n'exige aucune autre donnée, que la dilatation du verre dont est formée la boule. Pour la connaître, j'ai fait prendre dans un même creuset, et au même instant, plusieurs morceaux de la même fonte, et j'en ai fait souffler un tube mince d'un plus de 4 pieds de long, et des boules aussi très-minces d'un diamètre d'environ $2^{\text{pouces}}$,26 (pouces décimaux). J'ai déterminé l'allongement du tube par la chaleur, et j'en ai déduit la correction applicable au volume des sphères.

L'appareil pyrométrique que j'ai employé pour déterminer la dilatation du verre est essentiellement le même que celui dont je m'étais servi dans mes anciennes recherches sur la dilatation du fer, et que l'on trouve décrit dans les

Mémoires de l'Académie des Sciences de Stockholm pour l'année 1805, pag. 262. Le tube de verre est soutenu dans une direction horizontale par des fils de laiton mobiles, et placé dans une caisse de fer-blanc, contre la paroi de laquelle une de ses extrémités est pressée par un ressort solidement vissé dans un support en bois situé un peu au-dessous. La caisse est éloignée d'environ un demi-pouce de ce support, sur lequel repose en partie un microscope fixé aussi en partie à la table qui porte l'appareil entier. Lorsque, pendant la durée de l'expérience, le micromètre n'éprouve aucun déplacement, je suis certain que la caisse n'a point échauffé le support de bois. Un micromètre à fils appartenant à une lunette astronomique de Dollond a été adapté, avec une simple lentille comme oculaire, à un microscope de Ramsden. Le grossissement linéaire était d'environ 90 fois.

On remplit la caisse de fer-blanc avec de l'eau dont on observe la température variable avec deux thermomètres à mercure plongés assez loin l'un de l'autre dans la masse liquide. On a soin de maintenir autant qu'il est possible une température uniforme dans toutes ses parties en l'agitant sans cesse avec une spatule de bois. A l'extrémité libre du tube de verre couché dans l'eau est adaptée une virole de laiton qui supporte une plaque de même métal élevée au-dessus de la surface de l'eau. Cette plaque porte des divisions parallèles et très-fines, tracées dans une direction perpendiculaire à la longueur du tube. Une des divisions sert de mire pendant l'expérience. Le tube de verre étant très-mince, prend rapidement la température du milieu; on n'a donc pas à craindre que le résultat soit différent suivant

qu'elle s'élève ou s'abaisse. Au reste, pour détruire toute influence fâcheuse provenant de ce que le verre conduit mal la chaleur, on a pris le plus grand nombre possible de déterminations dans l'une et l'autre circonstance, et l'on peut espérer de l'avoir ainsi entièrement détruite. La quantité dont il faut faire mouvoir le fil du micromètre pour l'amener sur la division qui sert de mire lorsque le tube a changé de longueur, est donnée en parties d'un cadran circulaire.

Soit *M* le nombre de degrés indiqués sur le cadran, *t* le nombre de degrés centigrades marquant la température correspondante, la table qui suit renferme les rapports observés entre ces deux quantités :

| *t.* | *M.* | *t.* | *M.* |
|---|---|---|---|
| + 3.0..... | — 16.0 | 14.2..... | 13.0 |
| 3.5..... | — 19.0 | 15.0..... | 16.5 |
| 4.5..... | — 18.0 | 16.0..... | 25.0 |
| 5.0..... | — 15.0 | 17.0..... | 29.5 |
| 6.0..... | — 9.0 | 18.5..... | 38.5 |
| 7.5..... | — 4.0 | 18.6..... | 31.0 |
| 8.0..... | — 3.0 | 19.0..... | 28.0 |
| 9.0..... | — 3.0 | 19.5..... | 30.0 |
| 9.8..... | + 1.5 | 20.0..... | 39.7 |
| 10.0..... | 0.0 | 20.3..... | 37.0 |
| 10.1..... | 2.0 | 21.0..... | 46.5 |
| 10.2..... | 3.0 | 22.0..... | 50.5 |
| 11.0..... | 5.0 | 25.0..... | 65.0 |
| 12.0..... | 6.0 | 27.2..... | 79.0 |
| 12.5..... | 10.0 | 28.8..... | 85.0 |
| 13.0..... | 12.0 | 30.0..... | 90.0 |
| 13.5..... | 10.0 | | |
| 14.0..... | 12.0 | | |

En appliquant à ces données la méthode des moindres carrés, pour les représenter par la formule

$$M = a + bt + ct^2,$$

on arrive aux équations finales

$$0 = 42473{,}59 - 684{,}7\,a - 16844{,}85\,b - 406520{,}7\,c.$$
$$0 = -684{,}70 + 34{,}0\,a + 494{,}70\,b + 8906{,}8\,c.$$
$$0 = -16844{,}85 + 494{,}7\,a + 8906{,}81\,b + 183809{,}7\,c.$$
$$0 = -406520{,}75 + 8906{,}8\,a + 183809{,}67\,b + 4163419{,}6\,c.,$$

d'où l'on tire :

$a = -22{,}522$ avec $j' = 1{,}939$ et $\varepsilon'' a = 1{,}364$
$b = 1{,}49372$ $j'' = 102{,}73$ $\varepsilon'' b = 0{,}190$
$c = 0{,}080047$ $j''' = 110232{,}6$ $\varepsilon'' c = 0{,}005723$
$S = 262$ et $\varepsilon'' = 1^{\text{des}}{,}9$ du micromètre ;

par conséquent,

$$M = -22{,}522 + 1{,}4937\,t + 0{,}08005\,t^2.$$

L'erreur probable qui affecte la valeur de *M*, déterminée par cette équation, est :

$$\varepsilon'' M = \sqrt{(\varepsilon'' a)^2 + (\varepsilon'' b)^2 + (\varepsilon'' c)^2} = 1{,}377 \text{ p. du micromètre.}$$

L'erreur dans l'observation elle-même est ici le résultat de la combinaison de deux erreurs indépendantes entr'elles : 1°. l'erreur dans la manière de viser, lorsque, sans s'apercevoir d'un petit déplacement du fil, on avance trop ou trop peu l'index du micromètre ; 2°. l'erreur que peut causer le défaut de conductibilité du verre, lorsqu'il ne se pénètre pas assez rapidement de la chaleur de l'eau.

Pour séparer ces erreurs, on a observé quarante fois au micromètre, et sans qu'elle éprouvât aucun déplacement, une division tracée sur une plaque de cuivre,

comme celle que l'on observait pour mesurer la dilatation du verre. La valeur moyenne de toutes les mesures micrométriques a été 33°,63, et la somme de toutes les différences entre cette moyenne et chacune des observations s'est élevée à 34,52. Par conséquent, l'erreur de pointé la plus probable est :

$$= 0,8453 . \frac{34,52}{39} = 0^{\text{part.}},748 \text{ (du micromètre)};$$

soit $x$ l'erreur qui provient du défaut de conductibilité,

$$\text{l'erreur totale } 1,9 = \sqrt{(0,748)^2 + x^2},$$

$$\text{et } x = 1^{\circ},747 \text{ (degrés du micromètre.)}$$

Cette valeur étant plus que double de l'erreur de pointé, il est clair que l'emploi d'un plus fort grossissement, tout en diminuant l'erreur de pointé, ne serait pas d'un grand avantage pour la précision des mesures.

Il est commode de compter la dilatation du verre à partir de $t = 0$, et puisqu'alors $M = -22,522$, on trouve pour son accroissement :

$$M' = M + 22,522 = 1,4937\, t + 0,08005\, t^2 \quad (2).$$

Cette valeur représente l'allongement du tube entier, dont la longueur, dans les expériences, était de 41 pouces décimaux de Suède. La dilatation pour une longueur d'un pouce, exprimée en parties du micromètre, était donc :

$$\frac{M'}{41} = M'' = 0,036432\, t + 0,0019524\, t^2 \quad (3);$$

et puisque l'incertitude probable sur une longueur de 41 pouces était $\varepsilon'' M = 1,377$, cette incertitude sur la longueur de 1 pouce ou sur la valeur de $M''$ n'est que

$\frac{1,377}{41} = 0,034$. On trouverait de même que l'erreur des coefficiens serait :

$$\text{pour le premier}, \frac{\varepsilon'' b}{41} = 0,004634;$$

$$\text{pour le second}, \frac{\varepsilon'' . c}{41} = 0,0001396.$$

Pour savoir ce que représentent en longueurs du tube les degrés du micromètre, il était nécessaire de placer à une distance convenable de celui-ci une échelle bien connue, et d'en faire parcourir successivement les divisions par le fil.

Il aurait été plus direct d'employer immédiatement une échelle divisée en pouces. Mais je n'en trouvai aucune dont la division fût assez exacte pour paraître exempte d'erreurs, vue avec un grossissement de quatre-vingt-dix fois. En outre, sur les échelles ordinaires, les divisions n'étaient pas assez resserrées pour que l'on pût en embrasser à la fois plusieurs dans le champ de la vision, et diminuer par là l'influence de leurs erreurs. Je fus donc réduit à chercher à obtenir d'une manière indirecte ce que je ne pouvais pas atteindre immédiatement, et j'employai pour cela deux vis micrométriques appartenant à différens cercles astronomiques de Utzschneider et de Liebherr. Par la comparaison du nombre de tours avec une échelle divisée en quarts et en vingtièmes de pouce, j'obtins le résultat suivant :

*Vis micrométrique*, n°. 1.

| | | |
|---|---|---|
| 68 tours = | 3,3 quarts de pouce; | 1 tour = 0,012132 |
| 66...... | 3,25...................... | 0,012310 |
| 66...... | 3,20...................... | 0,012121 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 64 tours = | 3,125 quarts de pouce; | 1 tour = | 0,012207 |
| 63..... | 3,10...................... | | 0,012301 |
| 61..... | 3,00...................... | | 0,012295 |
| 60..... | 2,9....................... | | 0,012084 |
| 58..... | 2,83...................... | | 0,012198 |
| 55,5... | 2,7....................... | | 0,012162 |
| 53..... | 2,6....................... | | 0,012264 |

La valeur moyenne d'un tour $A = 0,0122074$.

En prenant la différence de cette valeur moyenne à celles que donnent les observations, on trouve, pour l'erreur probable d'observation,

$$\varepsilon'' A = 0,0000575\,;$$

et pour l'erreur probable sur la valeur moyenne,

$$(\varepsilon'' A) = \frac{0,0000575}{\sqrt{10}} = 0^{\text{pouc.}},000018.$$

La même vis fut ensuite transportée dans le champ du microscope, et sur différentes parties de cette vis on mesura avec le micromètre l'espace correspondant à 60 tours, espace à-peu-près égal aux longueurs de l'échelle qui avaient servi dans les comparaisons. On trouva ainsi que la valeur moyenne $B$ du pas de la vis était égale à 227,14 degrés de micromètre; l'erreur probable d'observation $\varepsilon'' B = 1^\circ,355$, et celle (1) du résultat dé-

(1) Cette erreur d'observation comprend les erreurs de pointé et les inégalités des différens pas de vis. Quant aux premières, on ne peut pas les conclure sans de nouvelles recherches de ce qui a été trouvé précédemment en vissant sur une ligne tracée sur un plan moins éclairé; en effet, ici

finitif ($\varepsilon''B$) $= 0^{b},175$, en comparant entr'elles les deux valeurs obtenues pour le pas de la vis, on trouve :

$$227{,}14 \text{ degrés du micromètre} = 0^{\text{ponc.}},0122074,$$

$$1^{\circ} \text{ du micromètre} = 0^{p},00005\,3744 = c.,$$

et l'incertitude la plus probable de ce résultat,

$$\varepsilon''c = \frac{A}{B}\sqrt{\left(\frac{\varepsilon''A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon''B}{B}\right)^2} = 0{,}000000894.$$

---

on a de plus, d'un côté, la difficulté de n'avoir aucun point de mire déterminé (il s'agit de partager en deux, avec le fil du micromètre, l'espace compris entre deux filets de la vis); mais on a l'avantage de voir l'objet sur un champ très-lumineux. 40 mesures prises en faisant parcourir à la vis le même espace ont donné, pour la *somme moyenne*, des différences 0,853 ; j'en ai conclu l'erreur de pointé = 0,738 degrés du micromètre ; valeur presqu'égale à celle que j'ai déjà déterminée dans un autre cas. L'influence contraire des deux causes que je viens de signaler a donc produit dans celui-ci une compensation presque parfaite. En combinant l'erreur de pointé avec l'erreur totale ($\varepsilon''B$) = 1,355, on trouve, pour les inégalités probables des différens pas de vis,

$$\sqrt{(1{,}355)^2 - (0{,}738)^2} = 1{,}136 \text{ degrés du micromètre},$$

$$= 1{,}136\frac{A}{B} = 0{,}000061 \text{ (pouces décimaux)}.$$

La petitesse de cette quantité confirme la juste réputation des instrumens faits à Munich.

*Vis micrométrique*, n°. 2.

| | | |
|---|---|---|
| 102 tours = 4,9 quarts de pouce; 1 tour = | | pouc. 0,012010 |
| 100..... | 4,8.................... | 0,012000 |
| 98..... | 4,7.................... | 0,011989 |
| 96..... | 4,6.................... | 0,011979 |
| 94..... | 4,5.................... | 0,011968 |
| 92..... | 4,4.................... | 0,011956 |
| 89,5.... | 4,3.................... | 0,012011 |
| 87,5.... | 4,2.................... | 0,012000 |
| 83,5.... | 4,0.................... | 0,011967 |
| 79..... | 3,8.................... | 0,012025 |

La valeur moyenne d'un pas de vis $A' = 0,0119914$,
l'erreur probable d'observation $\varepsilon'' A' = 0,0000176$,
et l'erreur probable du résultat $(\varepsilon'' A') = 0,00000528$.

On voyait, à la simple inspection et sans le micromètre, que cette vis était moins parfaite que la première.

La mesure de 40 distances différentes parcourues par la vis donna pour leur valeur moyenne $B' = 222°,31$; pour l'erreur probable d'observation (1) $\varepsilon'' B' = 2°,331$, et pour celle du résultat $(\varepsilon'' B') = 0°,3685$. On a donc:

222°,31 du micromètre = 0,0119914 pouc. décimim.

et 1° microm. $= \frac{0,0119914}{222,31} = 0^{pouc.},00005394 0 = c'$.

L'erreur la plus probable est ici :

(1) L'erreur probable des différens pas de vis est ici :
$\sqrt{(2,331)^2 - (0,738)^2} = 2°,211$ du microm. $= 0^{pouc.},000119$.
Elle est presque double de la précédente et provient de quelques pas très-défectueux.

$$\varepsilon'' c' = \frac{A'}{B'} \sqrt{\left(\frac{\varepsilon'' A'}{A'}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon'' B'}{B'}\right)^2} = 0{,}000000925.$$

en ayant égard à l'incertitude probable, trouvée de cette manière, on voit que $C$ et $C'$ s'accordent très-bien; et si l'on suppose que les poids des valeurs $C$ et $C'$ soient:

$$\frac{1}{\varepsilon'' c} \text{ et } \frac{1}{\varepsilon'' c'},$$

on trouve, en combinant ces valeurs d'après leur exactitude probable,

$$1^{\text{o}} \text{ micr.} = \frac{(\varepsilon'' c')^2 c + (\varepsilon'' c)^2 c'}{(\varepsilon'' c')^2 + (\varepsilon'' c)^2} = \mu = 0^{\text{pouce}},00005\check{3}827.$$

L'erreur probable de ce résultat n'est plus que $\varepsilon''\mu = 0^{\text{pouce}},000000064$ : il peut donc être regardé comme tout-à-fait exact.

Substituons dans l'équation (III), cette valeur de $1^{\text{o}}$ du micromètre; soit la longueur du tube de verre $= 1$ à $0^{\text{o}}$ de température; égale à $G$ à $t^{\text{o}}$, en sorte que $G = \mu M''$; on aura:

$$G = 1 + 0{,}00000196\, t + 0{,}000000105\, t^2$$
$$= 1 + g' t + g'' t^2. \qquad \text{(IV.)}$$

L'incertitude probable des coefficiens $g$ et $g'$ sera:

$$\varepsilon'' g' = \mu b \sqrt{\left(\frac{\varepsilon'' b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon'' \mu}{\mu}\right)^2} = 0{,}0000002494$$

$$\varepsilon'' g'' = \mu c \sqrt{\left(\frac{\varepsilon'' c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon'' \mu}{\mu}\right)^2} = 0{,}0000000752,$$

et celle de $G$,

$$\varepsilon'' G = \sqrt{(\varepsilon'' g')^2 + (\varepsilon'' g'')^2} = 0{,}00000025.$$

Cette valeur de $G$ s'éloigne beaucoup des anciennes données sur la dilatation du verre. On admettait, en

effet, que cette dilatation était une quantité constante pour chaque degré du thermomètre. Cet exemple montre combien il est nécessaire de chercher les élémens propres à la composition du verre que l'on emploie, dans chaque cas particulier. Je ne puis pas décider si la formule, qui n'est spécialement applicable que depuis 0 jusqu'à 30° cent., peut être employée par extension jusqu'à 100° avec une certitude suffisante. J'ai calculé jusqu'à cette limite les valeurs qu'on en déduit, et je les ai réunies dans le tableau suivant pour faciliter la comparaison avec les anciennes données et faire mieux voir la marche des différences.

*Dilatation d'un tube de verre dont la longueur à 0° est prise pour unité.*

| Température. | Lavoisier. | Roy. | Hällström. Equation IV. |
|---|---|---|---|
| 1°. | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
| 10 | 0,000087 | 0,000078 | 0,000030 |
| 20 | 0,000175 | 0,000155 | 0,000081 |
| 30 | 0,000265 | 0,000233 | 0,000153 |
| 40 | 0,000350 | 0,000310 | 0,000246 |
| 50 | 0,000438 | 0,000388 | 0,000361 |
| 60 | 0,000526 | 0,000466 | 0,000496 |
| 70 | 0,000613 | 0,000543 | 0,000652 |
| 80 | 0,000701 | 0,000621 | 0,000829 |
| 90 | 0,000788 | 0,000698 | 0,001027 |
| 100 | 0,000876 | 0,000776 | 0,001246 |

On voit que les plus grandes différences entre les trois séries de résultats ont lieu aux basses températures; que ces différences diminuent au-delà, s'évanouissent presque à 60°, et vont ensuite en augmentant, mais en sens contraire. Si l'on n'oublie pas que les anciennes

expériences n'ont été faites qu'à des températnres peu inférieures à 100°, on pensera sans doute que la plus grande partie des différences, en négligeant ce qui dépend de la composition variable des verres, a dû provenir de la supposition universellement admise que la dilatation est une quantité constante pour chaque degré de température. On ne peut cependant pas savoir si les verres employés par Lavoisier et Roy se dilataient moins dans les basses températures que dans les températures élevées. Il est même vraisemblable qu'il y a une espèce de verre pour laquelle la dilatation et la température, lorsque celle-ci est assez haute, sont entr'elles dans un rapport simple, ce qui mériterait des recherches spéciales.

Si l'on élève au cube les deux membres de l'équation (IV), on trouve pour le volume à $t^o$ du verre employé :

$$(V).\quad G^3 = 1 + 0{,}00000588\, t + 0{,}0000000315\, t^2$$
$$= 1 + (g')t + (g'')t^2.$$

Les erreurs probables sur les coefficiens $(g')$, $(g'')$ et sur $G^3$ étant

$$\varepsilon''(g'') = 3\varepsilon'' g' = 0{,}0000007482$$
$$\varepsilon''(g'') = 3\varepsilon'' g'' = 0{,}0000000226$$
$$\varepsilon'' G^3 = 0{,}0000007485,$$

telles sont les valeurs que j'emploierai dans la suite.

Les recherches préliminaires étant ainsi terminées, il me reste à exposer les autres moyens employés à déterminer la dilatation de l'eau. Je me servais pour cela, comme je l'ai déjà dit, d'une boule soufflée du même verre que le tube dont la dilatation est représentée par l'équation (V). Cette boule, dont le diamètre était exactement 2$^{pouc.\ déc.}$,26, et par conséquent le volume = 6,05

pouces cubes décimaux, fut lestée avec du sable, et scellée hermétiquement à la lampe. Après le refroidissement, le thermomètre étant à 20° cent., et le baromètre à $25^{pouc.},6$, elle pesait $167^{gram.}404$. Pour que l'on ait tous les élémens de la réduction de ce poids au vide, je dois ajouter que les contre-poids étaient de laiton, et que, par conséquent, si un pouce cubique de laiton pèse $0^{liv.},525$ (poids de Suède), ou $223^{gr.},189$, les $167^{gr.},404$ de ce métal devaient avoir un volume de $\frac{167,404}{223,189} = 0,75$ centième de pouce cube : or, $6,05 - 0,75 = 5^{pouc.\ cub.},3$ d'air atmosphérique à la température et sous la pression que j'ai citées, pesant $0^{gr.},17$. Le poids de la boule, réduit au vide, est donc $= 167,404 + 0,17 = 167^{gr.},574$. Cette boule, suspendue par un cheveu court et très-fin, fut plongée dans un vase rempli d'eau distillée, placé lui même dans un bain d'eau commune que l'on pouvait porter à la température convenable, en y jetant de la neige ou de l'eau chaude. Cette température était indiquée avec exactitude par un thermomètre plongé dans le vase intérieur très-près de la boule de verre.

Entre 0° et 32°, celle-ci pesait dans l'eau depuis $5^{gr.},1$ jusqu'à $5^{gr.},8$. Les volumes des poids égaux de laiton sont compris entre 0,024 et 0,027 pouces cubes, et déplacent un volume d'air du poids de $0^{gr.},000768$ à $0^{gr.}000864$, ou en nombre rond de $0^{gr.},0008$ que l'on doit retrancher du poids de la boule dans l'eau, pour avoir égard à la réduction au vide. Le tableau suivant renferme les résultats des pesées faites avec une balance très-sensible de l'artiste anglais Hurter. La première colonne présente les températures en degrés du thermomètre centigrade ; la seconde, le poids de la boule dans

l'eau, sans tenir compte d'aucune correction. Je dois remarquer que, pour éviter l'erreur qui pourrait provenir de la mauvaise conductibilité du verre, on a eu soin que, pendant une moitié environ des expériences, la température s'élevât, qu'elle s'abaissât pendant l'autre moitié. La troisième colonne contient les diminutions du poids de la boule dans l'eau, ou le poids dans le vide de l'eau déplacée par la boule. On a obtenu ces dernières valeurs en retranchant du poids de la boule dans le vide, poids égal à 167$^{gr.}$,574, les nombres correspondans de la seconde colonne, diminués de 0,0008 pour la réduction au vide. Enfin la quatrième colonne contient les différences des nombres de la seconde à celui qui exprime le poids du volume d'eau à 20°. L'emploi de ces différences abrège beaucoup les calculs suivans. Tous les poids sont donnés en grammes.

| 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|
| 0°,8 | 5,133 | 162,4418 | + 0,203 |
| 1,0 | 131 | 4438 | 205 |
| 1,1 | 130 | 4448 | 206 |
| 1,3 | 126 | 4488 | 210 |
| 1,4 | 128 | 4468 | 208 |
| 1,8 | 123 | 4518 | 213 |
| 2,0 | 120 | 4548 | 216 |
| 2,2 | 119 | 4558 | 217 |
| 2,5 | 116 | 4588 | 220 |
| 3,0 | 116 | 4588 | 220 |
| 3,0 | 110 | 4648 | 226 |
| 3,7 | 115 | 4598 | 221 |
| 4,0 | 112 | 4628 | 224 |
| 4,8 | 111 | 4638 | 225 |
| 5,0 | 111 | 4638 | 225 |

| 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|
| 5°,7 | 5,114 | 162,4608 | + 0,222 |
| 6,2 | 115 | 4598 | 221 |
| 6,7 | 115 | 4598 | 221 |
| 8,0 | 122 | 4528 | 214 |
| 8,6 | 126 | 4488 | 210 |
| 9,0 | 128 | 4468 | 208 |
| 10,0 | 136 | 4388 | 200 |
| 10,5 | 146 | 4288 | 190 |
| 11,0 | 156 | 4188 | 180 |
| 15,2 | 216 | 3588 | 120 |
| 15,4 | 220 | 3548 | 116 |
| 16,0 | 238 | 3368 | 098 |
| 16,3 | 240 | 3348 | 096 |
| 16,8 | 255 | 3198 | 081 |
| 17,0 | 264 | 3108 | 072 |
| 17,5 | 266 | 3088 | 070 |
| 17,8 | 270 | 3048 | 066 |
| 17,8 | 278 | 2968 | 058 |
| 18,0 | 286 | 2888 | 050 |
| 18,7 | 294 | 2808 | 042 |
| 19,0 | 310 | 2648 | 026 |
| 20,0 | 336 | 2388 | 000 |
| 20,2 | 334 | 2408 | + 0,002 |
| 20,4 | 345 | 2298 | − 0,009 |
| 20,5 | 346 | 2288 | 010 |
| 21,0 | 365 | 2089 | 029 |
| 21,2 | 362 | 2128 | 026 |
| 22,0 | 381 | 1938 | 045 |
| 24,0 | 458 | 1168 | 122 |
| 25,1 | 487 | 0878 | 151 |
| 25,5 | 508 | 0668 | 172 |
| 25,7 | 514 | 0608 | 178 |
| 26,5 | 544 | 0308 | 208 |
| 27,0 | 564 | 0108 | 228 |
| 27,2 | 572 | 162,0028 | 236 |
| 27,6 | 592 | 161,9828 | 256 |

| 1. | 2. | 3. | 4. |
|---|---|---|---|
| 27°,9 | 5,600 | 161,9748 | — 0,264 |
| 28,2 | 612 | 9628 | 276 |
| 29,0 | 646 | 9288 | 310 |
| 29,4 | 662 | 9128 | 326 |
| 30,0 | 700 | 8748 | 364 |
| 30,4 | 710 | 8648 | 374 |
| 30,6 | 720 | 8548 | 384 |
| 31,0 | 733 | 8418 | 397 |
| 31,2 | 746 | 8288 | 410 |
| 32,0 | 808 | 7668 | 472 |
| 32,2 | 798 | 7768 | 462 |
| 32,3 | 808 | 7668 | 472 |
| 32,5 | 822 | 7528 | 486 |

Si l'on appelle ( $y$ ) une quelconque des différences contenues dans la quatrième colonne, et $t$ la température correspondante, et que l'on suppose entre ces quantités la relation,

$$(y) = \alpha + \beta t + \gamma t^2 + \delta t^3$$

la détermination des coeffiens $\alpha$, $6$, $\gamma$, $\delta$ par la méthode des moindres carrés, conduit aux équations finales,

$$0 = 5,473951 + 0,665\alpha + 158,5345\beta + 5467,895\gamma + 170909,66\delta$$

$$0 = 0,665 + 6400\alpha + 1069,40\beta + 24925,18\gamma + 645109,66\delta$$

$$0 = 158,5445 + 1069,40\alpha + 24925,18\beta + 645109,166\gamma + 17599904\delta$$

$$0 = 5467,895 + 24925,18\alpha + 645109,66\beta + 17599904\gamma + 49663276\ \delta$$

$$0 = 170909,66 + 645109,66\alpha + 17599904\beta + 496632764\gamma + 14340777092\delta;$$

d'où l'on tire :

$\alpha = 0,1993686;$ $\quad \gamma' = 4,1362$ $\quad$ et $\quad \varepsilon''\alpha = 0,0016501$
$\beta = 0,00955437;$ $\quad \gamma'' = 36,986$ $\quad \varepsilon''\beta = 0,0$[illegible]$55183$
$\gamma = -0,00100985;$ $\quad \gamma''' = 6936$ $\quad \varepsilon''\gamma = 0,0004030$
$\delta = 0,0000023444;$ $\quad \gamma'''' = 17820688$ $\quad \varepsilon''\delta = 0,000000795$
$S = 0,0015597;$ $\quad \varepsilon'' = 0^{\text{gram.}},003356;$

par conséquent,

$$\text{(VI).}\ (y) = 0,19957 + 0,009554\,t - 0,0010098\,t^2 + 0,00000234\,t^3.$$

Si l'on ajoute à $(y)$ le poids retranché 162,2388, et que l'on divise la somme par $162,2388 + 0,1996 = 162,4384$, on obtient pour la densité apparente de l'eau à $t^\circ$ de température (sans avoir égard à la correction pour la dilatation du verre),

$$\text{(VII).}\ y = 1 + 0,0000588818\,t - 0,0000062168\,t^2 + 0,00000001443\,t^3,$$

la densité de l'eau à $0^{\circ}$ étant prise pour unité. L'erreur probable d'observation est ici :

$$= \frac{0,003356}{162,4384} = 0,00002066;$$

et les erreurs probables sur les coefficiens $(\beta)$, $(\gamma)$, $(\delta)$, ainsi que sur la valeur de $y$ sont :

$$\varepsilon''(\beta) = 0,00000339;\quad \varepsilon''(\gamma) = 0,000000248$$
$$\varepsilon''(\delta) = 0,0000000055$$
$$\varepsilon'' y = \sqrt{(\varepsilon''(\beta))^2 + (\varepsilon''(\gamma))^2 + (\varepsilon''(\delta))^2} = 0,0000034.$$

Les corrections relatives aux changemens de volume qu'éprouve le verre employé sont données par l'équation (V). En la combinant avec l'équation (VII), on aura donc la vraie densité ou la pesanteur spécifique de

l'eau à $t^o$ ( du moins entre o et 32° ) représentée par la formule

$$\text{(VIII)}. \ \frac{g}{G}^3 = z = 1 + 0{,}000052939\, t - 0{,}0000065322\, t^2$$

$$+ 0{,}00000001445\, t^3 = 1 + \zeta' t - \zeta'' t^2 + \zeta''' t^3,$$

ou les coefficiens $\zeta'$, $\zeta''$, $\zeta'''$, déterminés par la division indiquée, sont :

$$\zeta' = (\beta) - (g')\,;\ \zeta'' = (\gamma) - (g'') - (g')\,\zeta'\,;\ \zeta''' = \delta\,;$$

les erreurs probables sur ces coefficiens sont donc :

$$\varepsilon''\zeta' = \sqrt{(\varepsilon''(\beta))^2 + (\varepsilon''(g'))^2} = 0{,}0000347\,1$$

$$\varepsilon''\zeta'' = \sqrt{(\varepsilon''(g))^2 + (\varepsilon''(g''))^2} = 0{,}000000242$$

$$\varepsilon''\zeta''' = \varepsilon''\delta = 0{,}0000000055\,:$$

et celle de $z$,

$$\varepsilon'' z = \sqrt{(\varepsilon''\zeta')^2 + (\varepsilon''\zeta'')^2 + (\varepsilon''\zeta''')^2} = 0{,}0000348.$$

Cette erreur n'est donc plus qu'environ la moitié de celle qui résulte des expériences de Gilpin.

L'équation ( VIII ) donne :

$$\text{(IX)}. \ \frac{dz}{dt} = 0{,}000052939 - 0{,}0000130644\, t$$

$$+ 0{,}00000004335\, t^2 = (\zeta') - (\zeta'')\, t + (\zeta''')\, t^2.$$

En égalant à o cette expression, on en tire pour la température qui donne la plus grande densité de l'eau la la valeur, $t = 4^o{,}108$ cent. Il reste sur les coefficiens ( $\zeta'$ ), ( $\zeta''$ ) et ( $\zeta'''$ ) des erreurs probables :

$$\varepsilon''(\zeta') = \varepsilon''\zeta' = 0{,}0000347$$

$$\varepsilon''(\zeta'') = 2\varepsilon''\zeta'' = 0{,}000000484$$

$$\varepsilon''(\zeta''') = 3\varepsilon''\zeta''' = 0{,}0000000165.$$

On peut à l'aide de ces expressions calculer de la manière suivante l'erreur probable de la valeur de $t$.

L'équation (IX) donne avec une exactitude suffisante (à cela près de $0°,002$ c.) :

$$t = \frac{(\zeta')}{(\zeta'')} + \left(\frac{(\zeta')}{(\zeta'')}\right)^2 \frac{(\zeta''')}{(\zeta'')},$$

et puisque

$$\varepsilon''\left(\frac{(\zeta')}{(\zeta'')}\right) = \frac{(\zeta')}{(\zeta'')}\sqrt{\left(\frac{\varepsilon''(\zeta')}{(\zeta')}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon''(\zeta'')}{(\zeta'')}\right)^2} = 0{,}23744$$

$$\varepsilon''\left[\left(\frac{(\zeta')}{(\zeta'')}\right)^2 \cdot \frac{(\zeta''')}{(\zeta'')}\right] = \left(\frac{(\zeta')}{(\zeta'')}\right)^2 \cdot \frac{(\zeta''')}{(\zeta'')} \times$$

$$\sqrt{2\left(\frac{\varepsilon''(\zeta')}{(\zeta')}\right)^2 + 3\left(\frac{\varepsilon''(\zeta'')}{(\zeta'')}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon''(\zeta''')}{(\zeta''')}\right)^2} = 0{,}02180,$$

on obtient :

$$\varepsilon''\, t = \sqrt{(0{,}23744)^2 + (0{,}02180)^2} = 0{,}2384.$$

Ainsi les limites de la valeur de $t$, fournies par cette méthode, sont donc :

$$t = 4°{,}108 \pm 0°{,}238 \text{ cent.}$$

Il ne me paraît pas que l'on puisse rien objecter maintenant contre l'exactitude des procédés et des expériences que je viens de décrire. Le résultat définitif en est lui-même une preuve, puisqu'il offre un degré de certitude trois fois plus grand que celui des observations si vantées de Gilpin. Je crois donc pouvoir en conclure, que l'on ne peut pas déterminer la température du *maximum* de densité de l'eau, par la méthode que j'ai employée, sans qu'il reste sur sa valeur une incertitude de près d'un quart de degré centigrade.

La combinaison la plus défavorable des erreurs de $(\zeta')$, $(\zeta'')$, $(\zeta''')$ est celle où la première et la dernière

seraient de même signe, mais d'un signe contraire à celui de la seconde. Dans ces deux cas extrêmes $t_{,}=4^{\circ},583$ et $t_{,,}=3^{\circ},678$ ; à mesure que l'on s'en approche, la probabilité de la valeur de $t$ diminue, et lorsqu'on les atteint, elle devient infiniment petite. Il est donc évident que des valeurs de $t$ plus petites que $3^{\circ},678$, ou plus grandes que $4^{\circ},583$ ne peuvent nullement être admises.

L'équation (VIII) fournit la table suivante des pesanteurs spécifiques et des volumes de l'eau entre 0°, et 30° centig.

| Températures. | Pesanteurs spécifiques. | Volumes. |
|---|---|---|
| 0° c. | 1,0 | 1,0 |
| 1 | 1,0000466 | 0,9999536 |
| 2 | 1,0000799 | 0,9999202 |
| 3 | 1,0001004 | 0,9998996 |
| 4 | 1,00010817 | 0,9998918 |
| 4,1 | 1,00010824 | 0,99989177 |
| 5 | 1,0001032 | 0,9998968 |
| 6 | 1,0000856 | 0,9999144 |
| 7 | 1,0000355 | 0,9999445 |
| 8 | 1,0000129 | 0,9999872 |
| 9 | 0,9999579 | 1,0000421 |
| 10 | 0,9998906 | 1,0001094 |
| 11 | 0,9998112 | 1,0001888 |
| 12 | 0,9997196 | 1,0002804 |
| 13 | 0,9996160 | 1,0003841 |
| 14 | 0,9995005 | 1,0004997 |
| 15 | 0,9993731 | 1,0006273 |
| 16 | 0,9992340 | 1,0007666 |
| 17 | 0,9990832 | 1,0009176 |
| 18 | 0,9989207 | 1,0010805 |
| 19 | 0,9987468 | 1,0012548 |
| 20 | 0,9985615 | 1,0014406 |
| 21 | 0,9983648 | 1,0016379 |

| Températures. | Pesanteurs spécifiques. | Volumes. |
|---|---|---|
| 22° c. | 0,9981569 | 1,0018465 |
| 23 | 0,9979379 | 1,0020664 |
| 24 | 0,9977077 | 1,0022976 |
| 25 | 0,9974666 | 1,0025398 |
| 26 | 0,9972146 | 1,0027932 |
| 27 | 0,9969518 | 1,0030575 |
| 28 | 0,9966783 | 1,0033328 |
| 29 | 0,9963941 | 1,0036189 |
| 30 | 0,9960993 | 1,0039160 |

L'erreur probable sur la valeur des pesanteurs spécifiques est 0,0000035.

On a souvent besoin de connaître la pesanteur spécifique et le volume de l'eau à une température quelconque, en parties de sa pesanteur spécifique *maximum* et du volume correspondant, pris pour unité. J'ai calculé pour cet objet la table suivante :

| Températures. | Pesanteurs spécifiques. | Volumes. |
|---|---|---|
| 0° | 0,9998918 | 1,0001082 |
| 1 | 0,9999382 | 1,0000617 |
| 2 | 0,9999717 | 1,0000281 |
| 3 | 0,9999920 | 1,0000078 |
| 4 | 0,9999995 | 1,0000002 |
| 5 | 0,9999950 | 1,0000050 |
| 6 | 0,9999772 | 1,0000226 |
| 7 | 0,9999472 | 1,0000527 |
| 8 | 0,9999044 | 1,0000954 |
| 9 | 0,9998497 | 1,0001501 |
| 10 | 0,9997825 | 1,0002200 |
| 11 | 0,9997030 | 1,0002970 |

| Températures. | Pesanteurs spécifiques. | Volumes. |
|---|---|---|
| 12° | 0,9996117 | 1,0003888 |
| 13 | 0,9995080 | 1,0004924 |
| 14 | 0,9993922 | 1,0006081 |
| 15 | 0,9992647 | 1,0007357 |
| 16 | 0,9991260 | 1,0008747 |
| 17 | 0,9989752 | 1,0010259 |
| 18 | 0,9988125 | 1,0011888 |
| 19 | 0,9986387 | 1,0013631 |
| 20 | 0,9984534 | 1,0015490 |
| 21 | 0,9982570 | 1,0017560 |
| 22 | 0,9980489 | 1,0019549 |
| 23 | 0,9978300 | 1,0021746 |
| 24 | 0,9976000 | 1,0024058 |
| 25 | 0,9973587 | 1,0026483 |
| 26 | 0,9971070 | 1,0029016 |
| 27 | 0,9968439 | 1,0031662 |
| 28 | 0,9965704 | 1,0034414 |
| 29 | 0,9962864 | 1,0037274 |
| 30 | 0,9959917 | 1,0040245. |

Pour la température de 4°,1, la pesanteur spécifique et le volume sont égaux à l'unité.

---

## EXTRAIT *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

*Séance du lundi* 3 *janvier* 1825.

M. ARAGO, conformément au réglement, rend compte des progrès que l'impression des Mémoires a faits pendant la durée de sa présidence.

L'Académie procède à l'élection d'un vice-président pour l'année 1825 : le nombre des votans est de 51 ; M. Poisson réunit 31 suffrages : il prend place au bureau.

M. Chaptal, vice-président de l'année précédente, entre en fonction comme président pour 1825.

M. de Humboldt communique l'extrait de plusieurs lettres qu'il vient de recevoir d'Italie et d'Amérique. Le Dr Brera, professeur de clinique, annonce qu'il a employé, dans l'hôpital de Padoue, une nouvelle écorce à laquelle on a donné le nom de *Quina bicolor*, et qui, à très-petites doses, est plus fébrifuge que le meilleur quinquina. Le quina bicolor ressemble plus, par les caractères extérieurs, à l'écorce d'une simarou-biée ou d'une rutacée, surtout à l'écorce du bonplandia qu'à celle d'un chinchona. Le second objet des communications de M. de Humboldt sont les importans travaux exécutés dans la Colombie par MM. Rivero, Boussingault et Roulin, et que nous ferons connaître en détail dans un prochain article.

L'Académie procède, par voie de scrutin, à l'élection d'un correspondant dans la Section d'Agriculture. Le nombre des votans est de 51 ; M. Jaubert de Passa réunit 28 suffrages.

M. Pelletan fils lit une Note *sur les phénomènes galvaniques* qui, suivant lui, accompagnent l'acupuncture.

M. Lacroix, au nom d'une Commission, fait un rapport sur une traduction d'*Apollonius de Perge*, par feu M. Peyrard. L'Académie témoignera le desir que l'impression de cet ouvrage soit facilitée par des encouragemens, ainsi que l'a été celle d'*Euclide*.

M. Dupuytren commence la lecture d'un Mémoire *sur les Anus artificiels.*

L'Académie renvoie à l'examen d'une Commission un Mémoire de M. le capitaine Poncelet, *sur les Roues verticales à palettes courbes, mues en dessous.*

*Séance du lundi 10 janvier.*

M. Pelletan rend un compte peu favorable de la santé de M. Percy.

M. Delille, professeur à Montpellier, adresse un Mémoire *sur le Danger de l'emploi des champignons dans la cuisine.*

M. Duméril fait un rapport au sujet d'un Mémoire de MM. Pelletier et Huzard fils *sur les Sangsues.* Les auteurs s'étaient proposé, 1°. de déterminer les causes qui, dans certains cas, rendent très-difficiles à guérir les petites plaies produites par ces animaux; 2°. de reconnaître les circonstances qui font que certaines sangsues ne piquent pas la peau sur laquelle on les applique.

Sur le premier point, MM. Pelletier et Huzard sont d'accord avec les médecins, pour reconnaître que les inconvéniens reprochés aux sangsues doivent être le plus souvent attribués, soit au tempérament des patiens, soit à la nature de la maladie, soit le plus souvent à l'habitude fort mal raisonnée des personnes qui les appliquent, et qui, pour arrêter l'action trop prolongée de la succion de l'animal, le tourmentent de toutes les manières pour lui faire lâcher prise.

Sur le second point, les auteurs ont reconnu qu'on livre très-souvent au commerce des espèces de sangsues qui, au premier aperçu, ressemblent tout-à-fait à celles

que l'on désigne sous les noms triviaux de *médicinale* et d'*officinale*, dont elles diffèrent cependant tout-à-fait par leur organisation intérieure. Les fausses sangsues n'ont pas la bouche munie de mâchoires à bords tranchans comme les autres ; elles ne peuvent inciser la peau des animaux ; leur canal intestinal et surtout leur estomac sont autrement conformés.

M. Duméril fait un rapport sur un Mémoire de M. de Férussac *relatif à l'animal du genre argonaute*.

M. de Blainville a renouvelé, dans ces derniers temps, l'idée que ce mollusque est un animal parasite, qui n'est pas moulé sur la coquille, et qui ne l'a pas construite. M. de Férussac présente divers argumens contre cette opinion, qu'il faudrait absolument abandonner si une observation rapportée par M. Duvernoy était parfaitement certaine : ce naturaliste assure, en effet, qu'il a vu la coquille sur les embryons observés dans les œufs.

M. Dupin continue la lecture de son Mémoire.

On nomme, au scrutin, les deux Commissions qui décerneront les prix sur les phénomènes de la digestion et sur l'anatomie d'un reptile. La première de ces Commissions est composée de MM. Magendie, Duméril, Thenard, Gay-Lussac et Cuvier. Les membres de la seconde sont : MM. Cuvier, Duméril, Geoffroy Saint-Hilaire, Lacépède et Magendie.

---

## EXAMEN CHIMIQUE *d'une matière verte qui se forme sur l'eau minérale de Vichy, remise par M.* D'Arcet, *qui l'a recueillie lui-même à la fontaine dite* de l'Hôpital.

PAR M. VAUQUELIN.

(Lu à l'Académie royale des Sciences le 22 novembre 1824.)

Cette matière, contenue dans une bouteille de verre, était en partie liquide et en partie solide.

La partie liquide présentait un phénomène d'optique assez curieux : elle avait une couleur verte par réfraction et rouge pourpre par réflexion. L'analyse pourra peut-être nous fournir le moyen d'expliquer la cause de ces diverses colorations.

Ce liquide teint le papier en vert ; mais si l'humidité ne s'échappe pas trop promptement, le vert passe au bleu pur. L'alcali caustique passé sur ce papier ainsi teint, paraît détruire la couleur, mais il ne fait que la modifier ; car l'eau aiguisée d'acide nitrique la fait reparaître au bout d'un certain temps avec presque toute son intensité : en restant long-temps dans l'acide, elle passe au rose. Elle n'est pas sensiblement alcaline ; au moins le papier de tournesol rougi n'y reprend point sa couleur naturelle. Les acides coagulent cette liqueur en flocons qui, réunis sur un filtre et lavés, sont bleus-verdâtres et comme gélatineux ; le liquide qui passe est jaune brunâtre. Ces flocons se dissolvent dans le sous-carbonate de potasse en lui communiquant une couleur rouge pourpre.

Si, dans la dissolution alcaline de cette substance, l'on verse quelques gouttes d'acide nitrique, il s'y forme un précipité vert qui devient du plus beau bleu possible par un léger excès d'acide et avec un peu de temps. Ces flocons bleus sont de nature animale, car ils se composent au feu comme de l'albumine. Ils diminuent considérablement de volume par la dessiccation; ce qui annonce qu'ils retiennent beaucoup d'eau, et explique leur état gélatineux.

L'alcool coagule aussi ce liquide en flocons d'un vert sombre, prend une couleur jaune, et laisse après l'évaporation une matière brune, salée, qui exhale en brûlant l'odeur des matières animales.

Le chlore et l'acide nitrique concentré font perdre à l'instant la couleur verte à cette matière, et lui en font prendre une jaune.

Les alcalis et les acides agissent, comme on voit, sur cette matière colorante d'une manière inverse à celle qu'ils exercent ordinairement sur les couleurs végétales: cependant l'acide nitrique, en séjournant pendant quelque temps sur la matière bleue prend une couleur rougeâtre, et les lavages de cette substance sont pourpres d'abord et ensuite d'un bleu clair.

La liqueur, où j'avais mis de l'acide nitrique pour la décomposer, évaporée en consistance sirupeuse, est coagulée par l'alcool. La matière qui se dépose, lavée et séchée, donne de l'ammoniaque aussitôt qu'on la chauffe au point de la décomposer. La portion dissoute dans l'alcool, évaporée de nouveau, a fourni un sel cristallisé en trémies, qu'on a reconnu pour du nitrate de soude.

La liqueur verte est coagulée par la chaleur quand

celle-ci s'élève jusqu'au 65° Réaumur. La matière séparée conserve sa couleur verte si la température ne passe pas le terme indiqué ci-dessus ; mais elle devient jaune par l'ébullition. Le liquide jaune, filtré, précipite le nitrate d'argent en noir, et trouble à peine l'acétate de plomb : cependant il y forme au bout de quelque temps un dépôt jaunâtre. Ces effets annoncent que le liquide dont il s'agit contient du soufre.

Par l'évaporation, cette liqueur forme à sa surface, comme la dissolution d'albumine, des pellicules brunes qui se succèdent et se déposent sur les parois du vase. A mesure qu'elle diminue de volume, sa couleur prend plus d'intensité, et donne des marques d'acidité très-évidentes ; elle acquiert aussi, chose très-remarquable, une saveur sucrée qui a de l'analogie avec le jus concentré des champignons comestibles. L'acidité de ce liquide est sans doute produite par un acide organique ; car, évaporé et son résidu calciné, il fournit du carbonate de soude en quantité notable. Indépendamment de la matière animale que cette liqueur dépose pendant son évaporation, elle en retient encore beaucoup en dissolution qui lui donne une couleur brune et la propriété de précipiter abondamment par l'infusum gallique.

Pour nous assurer de la nature de l'acide organique dont on vient de parler, nous avons fait coaguler environ un demi-litre de la liqueur verte, et après l'avoir filtrée et évaporée en consistance sirupeuse, nous l'avons traitée par huit à dix fois son volume d'alcool, qui a opéré la séparation d'une matière brune, visqueuse et très-sucrée. L'alcool, qui, dans cette opération, avait acquis une couleur jaune fauve, a donné, après l'évapora-

tion, une espèce de sirop épais qui a cristallisé confusément, dont la saveur était salée et encore un peu sucrée.

La moitié de cette matière, distillée avec un peu d'acide sulfurique étendu de quatre fois son poids d'eau, a donné un produit acide auquel l'acide sulfurique n'avait aucune part, et qui avait l'odeur et la saveur de l'acide acétique. L'autre moitié, brûlée dans un creuset de platine, a laissé un charbon qui a fourni par le lavage du sous-carbonate de soude, qu'on a obtenu cristallisé. Le charbon, exposé au feu, a donné une cendre blanche qui n'était que du carbonate de chaux. Ainsi nul doute que cette matière ne contînt de l'acétate de soude et de chaux.

L'une et l'autre de ces matières, c'est-à-dire, celle qui avait été précipitée par l'alcool et celle qui s'était dissoute dans ce fluide, étendues d'une certaine quantité d'eau, étaient précipitées sous la couleur lie-de-vin par l'infusion de noix de galles.

Les acétates de soude et de chaux, que nous avons trouvés en assez grande quantité dans la matière recueillie sur l'eau de Vichy, n'existent sans doute pas dans cette eau au moment où elle sort de la terre; ils doivent avoir été formés par une altération survenue dans la matière verte pendant qu'elle a été renfermée dans la bouteille. Mais je ne conçois pas comment la formation de l'acide acétique a pu avoir lieu sans qu'en même temps il se soit développé de l'ammoniaque: cependant je n'en ai trouvé aucune trace, quoique j'aie fait à cet égard des recherches soignées.

L'on comprend facilement qu'à mesure que l'acide acétique a été produit, il s'est combiné avec la soude

et une partie de la chaux contenues à l'état de carbonate dans l'eau minérale, et dont la matière est restée imprégnée.

La matière qui colore l'eau en vert est, comme on a vu, très-fugace, puisque la chaleur de l'eau bouillante suffit pour la détruire radicalement. Lorsque cette substance est dissoute dans l'eau minérale, elle n'a probablement pas de couleur, puisque l'eau de Vichy est absolument incolore au moment où elle sort de la terre. Ce n'est donc que quand elle est séparée et qu'elle a le contact de l'air que ce phénomène a lieu. Mais comment cette substance, qui paraît peu soluble par elle-même, se trouve-t-elle en si grande quantité dans l'eau? Est-ce par l'intermède de quelque dissolvant? Sa solubilité dans le sous-carbonate de soude semblerait annoncer qu'un alcali en est la cause.

*De la Matière solide.*

Après avoir décanté, comme on l'a dit plus haut, le liquide contenu dans la bouteille, on a délayé le dépôt avec de l'eau, et on l'a versé sur un filtre, où il a été lavé jusqu'à ce que le lavage passât sans couleur.

Le marc, égoutté sur du papier, avait une couleur brune, était collant et visqueux.

Il se dissolvait en partie dans la lessive de potasse caustique, et lui communiquait une teinte jaune; il se dissout aussi, mais en plus petite quantité, dans le sous-carbonate de soude; il y a une substance grenue, d'un jaune léger, qui ne se dissout pas, quelle que soit la quantité d'alcali employée.

Le marc dont nous parlons a été desséché à une chaleur modérée jusqu'à ce qu'il fût réduit en poudre : en cet état, sa couleur était jaune-verdâtre.

Quatre grammes de cette poudre, chauffés dans une cornue, ont donné du sous-carbonate d'ammoniaque cristallisé en aiguilles dans le col de la cornue, de l'huile empyreumatique, peu d'eau et de gaz. Cette matière, en se décomposant ainsi, a conservé sa forme pulvérulente : elle était noire comme du charbon. Les quatre grammes ont été réduits à 3 gr. 34 cent. Ces derniers, exposés simultanément au feu et à l'air, se sont réduits à 2 gr. 62 centièmes, et ont acquis une couleur rougeâtre. Ainsi, par la distillation, cette matière a perdu 16 cent. de son poids, et par l'incinération 18 cent. $\frac{1}{2}$ : elle contenait donc environ le tiers de son poids de corps organique.

Le résidu terreux s'est dissous avec effervescence dans l'acide muriatique : il n'est resté que quelques petits grains de sable. La solution contenait beaucoup de chaux, de l'oxide de fer et de l'alumine qu'on a séparés les uns des autres par les moyens ordinaires. Ces trois substances étaient dans les rapports suivans : alumine, 1 centigr. ; oxide de fer, 31 ; et carbonate de chaux, 128.

C'est assurément une singulière matière que celle dont nous parlons : par sa couleur, elle a de l'analogie avec certaines substances végétales, et par sa nature, elle ressemble entièrement aux matières animales. J'ai trouvé, il est vrai, dans la pulpe cérébrale une substance bleue et une substance rose qui n'étaient peut-être que des modifications du même corps ; mais ces substances étaient solubles dans l'alcool, et celle de l'eau minérale ne l'est

pas. D'où peut provenir cette matière, ainsi que celles qui se trouvent assez généralement dans les eaux alcalines thermales, et qu'un des premiers j'ai signalées? Existent-elles toutes formées dans les profondeurs de la terre? ou bien leurs élémens se réunissent-ils en vertu de quelque puissance chimique? C'est ce qui nous est également difficile à concevoir. Quoi qu'il en soit, elle est composée de trois variétés de matière animale; l'une bleue, qui est coagulée par la chaleur, les acides, etc.; l'autre jaune, se dissolvant dans l'eau bouillante, précipitant par l'alcool et l'infusion de noix de galles; la troisième, qui se distingue en ce qu'elle n'est précipitée ni par la chaleur, ni par les acides, ni même par l'alcool, mais qui l'est par le principe astringent. Il est vraisemblable que ces trois substances ne sont que des états différens de la même matière originelle.

L'état où elle paraît avoir subi le moins d'altération est celui où elle se présente sous une couleur verte, et l'état dans lequel le changement a été porté plus loin est celui où la matière est soluble dans l'alcool.

Je n'hésite pas à dire que la substance dont la matière verte se rapproche le plus est l'albumine, et je pense que tous les chimistes seront de mon avis.

La matière bleue et la matière jaune dont la liqueur était composée ne pourraient-elles pas expliquer pourquoi cette liqueur paraît pourpre par réflexion et verte par réfraction quand elle est en couche mince?

On conviendra sans doute que des eaux minérales qui contiennent de pareilles substances ne sont pas faciles à imiter, et quand on entend dire qu'en ce genre l'art est

l'émule parfait de la nature, on est tenté de rire de pitié.

Les effets très-remarquables sur l'économie animale de certaines eaux minérales, dans lesquelles l'analyse ne trouve presque rien, prouvent qu'il y a encore beaucoup de corps qui se soustraient à nos moyens.

Ces difficultés ne doivent cependant pas nous décourager; elles doivent, au contraire, exciter notre zèle, et engager le Gouvernement à porter son attention sur une partie aussi intéressante pour l'humanité et même pour la géologie; car les eaux sont des espèces de sondes qui nous rapportent des entrailles de la terre des échantillons des matières qui la composent.

---

## RECHERCHES *chimiques sur le Mica.*

### PAR Mr HENRI ROSE.

DANS une dissertation que j'ai publiée il y a trois ans, j'ai cherché à montrer que plusieurs espèces de mica que j'avais analysées étaient composées d'un atome de trisilicate de potasse, réuni à 12 atomes des deux silicates isomorphes d'alumine et de protoxide de fer. Tous ces micas avaient deux axes optiques. Plus tard, j'ai examiné un mica à un seul axe qui était composé d'une toute autre manière. Il contenait particulièrement une quantité considérable de magnésie; tandis que l'on en trouve à peine dans les micas à deux axes, ni aucune des bases isomorphes avec la magnésie.

Quelque temps après, M. Peschier a fait connaître les résultats de l'analyse de plusieurs micas, et a cru y

reconnaître la présence d'une quantité très-considérable d'oxide de titane.

Cependant, ayant essayé au chalumeau les espèces qu'il a examinées et plusieurs autres, particulièrement en les fondant dans le sel de phosphore, avec ou sans addition d'étain, pour voir si j'obtiendrais un globule violet, ou d'un rouge de sang lorsque les micas contiennent une quantité notable de fer, je n'ai trouvé dans aucun d'eux que des traces d'acide titanique; et cependant s'ils en eussent contenu des quantités aussi considérables que celles que donne M. Peschier, on aurait dû nécessairement en découvrir la présence par ce moyen; car d'autres combinaisons siliceuses qui contiennent de l'acide titanique en quantité notable, comme, par exemple, le sphène, donnent très-facilement avec le sel de phosphore, dans la flamme intérieure du chalumeau, une couleur violette. Mais comme M. Peschier a opposé ses résultats aux miens, j'ai fait de nouvelles recherches sur les micas.

Le premier que j'ai analysé est un mica blanc d'Ochotzk en Sibérie. Je n'ai point employé le procédé de M. Peschier, car il ne peut donner des résultats précis; j'ai eu recours à la méthode que j'avais suivie dans mes premiers essais. J'ai eu soin de ne pas dessécher trop fortement la silice, et d'arroser la masse évaporée avec de l'acide muriatique concentré pour dissoudre l'acide titanique. On doit ensuite trouver cet acide avec l'oxide de fer, et non avec l'alumine; car il ne se dissout que difficilement dans la potasse caustique. On le sépare de l'oxide de fer en le faisant rougir, puis digérer avec de l'acide muriatique; l'acide titanique n'est point dissous.

Le mica dont il est question avait été reconnu par le Dr Seebeck pour être à deux axes : traité par le carbonate de soude et le nitrate de baryte, il a donné les résultats suivans :

| | |
|---|---|
| Silice | 47,19 ; |
| Alumine | 33,80 ; |
| Oxide de fer | 4,47 ; |
| Manganèse et magnésie | 2,58 ; |
| Chaux | 0,13 ; |
| Acide fluorique | 0,29 ; |
| Potasse | 8,35 ; |
| Eau | 4,07. |
| | 100,88. |

La silice contient 23,73 d'oxigène; l'alumine 15,79; l'oxide de fer 1,37, et la potasse 1,41. La formule

$$K S^3 + 12 \left\{ \begin{matrix} F \\ A \end{matrix} \right\} S$$

n'exprime pas exactement la composition de ce mica; car il contient un peu moins d'alumine et de fer que les micas à deux axes que j'avais précédemment analysés ; je la conserverai cependant parce qu'elle s'en éloigne très-peu.

L'existence de l'eau dans ce mica est très-remarquable ; car c'est le seul qui m'en ait présenté : il l'abandonne à une chaleur rouge faible. A une température plus élevée, il se dégage un peu d'acide fluorique aqueux, contenant de la silice.

Le mica *noir* ou plutôt *vert* de Sibérie, qui a été analysé par Klaproth, et qui est très-vraisemblablement le même dans lequel M. Peschier n'a point trouvé de magnésie, mais bien 30 pour cent de protoxide de titane, correspondant, d'après ses calculs, à 76,24 pour cent d'oxide au *maximum* ou d'acide titanique, m'a donné :

| | |
|---|---|
| Silice.............. | 40,00 ; |
| Alumine........... | 12,67 ; |
| Oxide de fer........ | 19,03 ; |
| Acide fluorique..... | 2,10 ; |
| Magnésie........... | 15,70 ; |
| Manganèse......... | 0,63 ; |
| Potasse............ | 5,61. |

J'ai obtenu en outre une trace de chaux et 1,63 pour cent d'acide titanique, mais qui était si ferrugineux qu'il prenait avec le sel de phosphore, dans l'intérieur de la flamme du chalumeau, une couleur rouge de sang (1). Le mica, traité par le carbonate de baryte, a donné 5,61 pour cent de potasse : une chaleur rouge ne lui a rien fait perdre de son poids. Une chaleur faible, qui fait perdre à la plupart des micas leur éclat métallique, n'altère point celui-ci ; il se comporte, sous ce rapport, comme le mica à un seul axe, dont j'ai déjà fait connaître l'analyse ; il lui est aussi tout-à-fait analogue par sa composition :

(1) De petites quantités de titane, comme de silice, de fer et de manganèse, paraissent répandues très-abondamment dans la nature sans être des principes essentiels. Ainsi, M. Arfvedson a trouvé des traces d'acide titanique dans le cyanite, mais si petites qu'il n'en a pas fait mention dans l'analyse de ce minéral. MM. Pr. Berzelius et Ström en ont trouvé dans l'*achmite* des quantités plus considérables, égales à-peu-près à celles qui paraissent exister dans quelques micas ; et avant on en avait reconnu dans plusieurs micas. Enfin, M. Berzelius en a reconnu plusieurs centièmes dans la plupart des fers micacés les mieux cristallisés, par exemple, dans ceux de l'île d'Elbe. Puisque l'oxide de fer et l'acide titanique ont une cristallisation entièrement différente, le dernier évidemment n'est point essentiel ; peut-être provient-il des petits cristaux de ruthile que l'on trouve quelquefois dans le fer micacé.

| | | |
|---|---|---|
| Oxigène de la silice........ | | 20,12; |
| | l'alumine....... | 5,92; |
| | oxide de fer..... | 5,83; |
| | la magnésie..... | 6,08; |
| | la potasse....... | 0,95. |

L'oxigène de toutes les bases est égal ou presque égal à celui de la silice. Si l'on suppose que le fer soit tout à l'état de peroxide, l'oxigène des bases isomorphes à trois atomes d'oxigène (le peroxide de fer et l'alumine) n'est plus égal à celui des bases à deux atomes (la magnésie et la potasse). Mais bien certainement le fer n'est pas tout à l'état de peroxide dans ce mica; car la couleur verte annonce dans les combinaisons du fer la présence du protoxide. En admettant que la moitié de l'oxigène qui est combiné avec le fer forme du peroxide, et l'autre moitié du protoxide, lequel renferme deux atomes d'oxigène, et est isomorphe avec la magnésie, on a une composition tout-à-fait la même que celle que j'ai déjà donnée pour le mica à un axe. Le Dr Seebeck, qui a fait antérieurement des recherches sur le mica dont je viens de présenter l'analyse, ne lui avait trouvé qu'un axe.

Un autre mica des environs de Fahlun, dont je ne me rappelle pas parfaitement la localité, m'a donné les résultats suivans :

| | |
|---|---|
| Silice.................... | 46,22; |
| Oxide de fer............. | 6,04; |
| Alumine.................. | 34,52; |
| Acide fluorique........... | 1,09; |
| Manganèse et magnésie..... | 2,11; |
| Eau...................... | 0,98; |
| Potasse.................. | 8,22. |
| | 99,18. |

En répétant cette analyse, je n'ai obtenu que des traces de titane. Comme on pouvait s'y attendre, le Dr Seebeck a trouvé deux axes à ce mica.

M. Peschier m'avait fait remettre deux micas dans lesquels il avait trouvé du titane en quantité très-considérable. Ils sont tous les deux de la vallée de Banien, dans le Valais : l'un est très-impur, et n'est rien autre chose qu'une chlorite impure ; l'autre est plus pur, mais seulement à petites écailles, sans être feuilleté, de sorte qu'il est impossible de déterminer comment il se comporte avec la lumière. Je l'ai examiné avec beaucoup de soin sous le rapport du titane ; mais je n'ai obtenu que 1,52 pour cent d'*acide titanique ferrugineux ;* je n'y ai trouvé que 0,17 pour cent d'acide fluorique et 6,03 de potasse sans soude ni lithine. Ses autres principes, sa couleur verte et la quantité de magnésie qu'il renferme rendent vraisemblable qu'il appartient aux micas à un axe.

S'il est permis d'étendre à tous les micas les résultats de l'analyse que j'ai faite de sept espèces, nous pourrons conclure :

Que l'on peut représenter la composition des micas à un axe par la formule

$$KS^3 + 12 \left\{ \begin{matrix} A \\ F \end{matrix} \right\} S :$$

c'est du moins ce qui paraît être pour les cinq micas à deux axes que j'ai examinés, savoir : le mica d'Ochotzk, Uto et Kimito et deux espèces des environs de Fahlun ;

Que, au contraire, les micas à un axe contiennent des bases à deux atomes d'oxigène, qui paraissent manquer aux micas à deux axes : ils sont composés de manière que l'oxigène de toutes les bases est égal à celui de la silice, et de plus, que l'oxigène de leurs bases à deux atomes d'oxigène est égal à celui de leurs bases à

trois atomes. Conséquemment on peut représenter leur composition par la formule

$$\left\{\begin{matrix} A \\ F \end{matrix}\right\} S + \left\{\begin{matrix} K \\ f \\ mg \end{matrix}\right\} S \text{ (1).}$$

Malgré l'exactitude avec laquelle cette formule paraît représenter la composition des micas que j'ai analysés, je suis cependant bien éloigné de lui accorder une justesse absolue. Le nombre des micas analysés est encore trop petit ; la présence de l'eau dans les micas à deux axes, de même que celle de l'acide fluorique, n'est point assez expliquée, et il est encore incertain dans quel rapport la potasse est combinée avec la silice, et le silicate de potasse avec leurs autres principes. Mais si mes conjectures sur la nature chimique des micas se vérifient, toutes les espèces de couleur verte devraient être à un axe ; car cette couleur annonce la présence du protoxide de fer, qui, comme base à deux atomes d'oxigène, ne peut être contenu que dans les micas à un axe.

*(Annalen der Physik, etc.)*

---

(1) La potasse contient, à la vérité, deux atomes d'oxigène, mais elle n'est point isomorphe avec la magnésie et le protoxide de fer. Il ne serait pas juste, d'après cela, de la placer dans la formule près de ces bases. Je l'ai cependant fait, ignorant la manière dont elle est combinée dans les micas.

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. *Janvier 1825.*

| JOURS. | 9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | MIDI. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | 3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | 9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | THERMOMÈTRE. maxim. | minim. | ÉTAT DU CIEL à midi. | VENTS à midi. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 767,80 | + 8,2 | 98 | 768,04 | +10,0 | 97 | 767,27 | +10,5 | 97 | 764,02 | + 8,5 | 90 | +10,5 | + 7,8 | Couvert. | S. O. |
| 2 | 761,74 | + 9,0 | 97 | 760,50 | +10,2 | 98 | 760,48 | +10,0 | 98 | 764,11 | + 6,0 | 96 | +10,2 | + 5,4 | Couvert. | S. O. |
| 3 | 769,97 | + 2,5 | 97 | 769,44 | + 7,4 | 87 | 768,10 | + 7,5 | 79 | 766,60 | + 5,0 | 94 | + 7,5 | + 1,5 | Couvert. | S. O. |
| 4 | 761,70 | + 8,7 | 99 | 759,92 | +10,8 | 96 | 759,66 | +10,8 | 98 | 761,00 | +10,0 | 99 | +10,8 | + 7,5 | Couv. temps hum. | O. |
| 5 | 769,42 | + 4,1 | 79 | 770,30 | + 4,7 | 79 | 770,60 | + 4,2 | 82 | 772,24 | + 2,2 | 95 | + 4,8 | + 2,2 | Couvert, brouillard. | N. |
| 6 | 774,90 | + 1,0 | 97 | 775,24 | + 2,2 | 87 | 775,00 | + 2,2 | 79 | 774,78 | — 0,8 | 95 | + 2,3 | — 0,8 | Nuageux, brouill. | N. E. |
| 7 | 773,10 | + 1,0 | 98 | 771,74 | + 2,8 | 99 | 770,75 | + 3,4 | 99 | 769,76 | + 4,2 | 99 | + 4,2 | — 2,5 | Pluie fine, brouill. | O. S. O. |
| 8 | 772,20 | + 6,0 | 91 | 773,40 | + 7,1 | 86 | 773,88 | + 7,0 | 81 | 774,75 | + 5,0 | 95 | + 7,5 | + 4,2 | Quelques éclaircies. | N. |
| 9 | 775,50 | + 6,5 | 95 | 775,68 | + 8,0 | 89 | 775,98 | + 7,6 | 90 | 776,03 | + 5,6 | 92 | + 8,0 | + 5,6 | Couvert, brouillard. | N. |
| 10 | 776,35 | + 4,8 | 99 | 775,95 | + 6,5 | 94 | 775,73 | + 6,9 | 90 | 775,45 | + 5,6 | 94 | + 6,9 | + 4,4 | Pluie fine, brouill. | N. |
| 11 | 775,05 | + 4,1 | 98 | 774,05 | + 4,8 | 94 | 773,40 | + 5,8 | 91 | 773,26 | + 4,5 | 97 | + 5,8 | + 4,0 | Pluie fine, brouill. | N. |
| 12 | 773,22 | + 5,8 | 98 | 773,26 | + 7,8 | 89 | 772,70 | + 7,4 | 85 | 772,63 | + 6,0 | 84 | + 7,8 | + 5,2 | Couvert, brouillard. | N. |
| 13 | 771,43 | + 4,4 | 85 | 770,96 | + 5,5 | 78 | 770,14 | + 5,1 | 83 | 770,27 | + 3,2 | 87 | + 5,5 | + 3,2 | Couvert, brouillard. | N. N. E. |
| 14 | 770,15 | + 2,8 | 91 | 768,72 | + 4,8 | 82 | 768,00 | + 4,8 | 84 | 767,62 | + 2,7 | 94 | + 5,3 | + 2,2 | Légèrement couvert. | N. E. |
| 15 | 766,33 | + 2,8 | 93 | 765,28 | + 4,5 | 85 | 764,38 | + 5,4 | 70 | 763,73 | + 1,8 | 91 | + 5,4 | + 1,8 | Très-couvert, brouil. | E. |
| 16 | 760,13 | — 1,5 | 99 | 757,96 | — 0,2 | 97 | 756,38 | — 0,8 | 94 | 753,00 | — 2,0 | 99 | — 0,2 | — 2,0 | Couvert, brouillard. | S. |
| 17 | 754,70 | + 2,8 | 99 | 756,32 | + 4,4 | 99 | 758,32 | + 5,5 | 98 | 761,70 | — 0,8 | 99 | + 5,6 | — 0,8 | Couvert, brouillard. | S. S. O. |
| 18 | 756,27 | + 2,1 | 99 | 753,07 | + 4,5 | 93 | 750,47 | + 3,2 | 98 | 748,72 | + 4,5 | 99 | + 4,5 | — 0,3 | Couv., léger brouil. | S. |
| 19 | 748,40 | + 2,8 | 98 | 748,44 | + 4,9 | 96 | 747,84 | + 5,2 | 86 | 748,30 | + 0,5 | 99 | + 5,3 | + 0,5 | Quelques gout. d'eau. | S. O. |
| 20 | 749,23 | + 2,7 | 99 | 748,66 | + 4,5 | 99 | 748,60 | + 5,2 | 99 | 748,78 | + 3,0 | 99 | + 5,8 | — 0,5 | Quelques éclaircies. | O. |
| 21 | 748,36 | + 3,0 | 99 | 747,98 | + 5,0 | 99 | 748,06 | + 4,0 | 99 | 749,87 | + 3,2 | 99 | + 5,0 | + 2,7 | Couvert, brouillard. | O. |
| 22 | 753,15 | + 2,3 | 99 | 753,23 | + 3,8 | 98 | 753,33 | + 3,5 | 85 | 753,70 | + 0,6 | 98 | + 3,8 | + 0,6 | Couvert, brouillard. | N. N. O. |
| 23 | 758,06 | + 2,0 | 98 | 758,52 | + 3,0 | 94 | 758,44 | + 3,1 | 95 | 758,80 | + 0,6 | 96 | + 3,3 | + 0,6 | Couvert, brouillard. | N. |
| 24 | 759,40 | — 0,8 | 97 | 758,70 | — 0,1 | 97 | 758,20 | + 0,0 | 97 | 757,67 | — 0,8 | 99 | + 0,3 | — 0,8 | Temps hum., brouil. | N. |
| 25 | 753,93 | + 0,7 | 98 | 752,27 | + 1,0 | 97 | 752,35 | + 2,5 | 97 | 755,50 | + 1,0 | 98 | + 2,5 | + 0,0 | Neige abond., brouil. | S. |
| 26 | 761,12 | + 0,5 | 98 | 761,43 | + 4,2 | 91 | 761,16 | + 3,0 | 91 | 762,04 | + 1,5 | 99 | + 4,3 | — 2,2 | Voilé. | O. |
| 27 | 765,20 | + 2,2 | 99 | 765,02 | + 5,2 | 94 | 764,82 | + 5,2 | 96 | 764,52 | + 5,0 | 99 | + 5,3 | + 1,2 | Couvert, brouillard. | S. O. |
| 28 | 770,28 | + 4,8 | 89 | 771,40 | + 6,2 | 82 | 772,55 | + 6.5 | 78 | 774,75 | + 2,7 | 93 | + 6,8 | + 0,1 | Nuageux. | N. |
| 29 | 775,50 | + 0,8 | 98 | 775,20 | + 3,5 | 95 | 774,50 | + 4,8 | 76 | 774,10 | + 0,8 | 98 | + 4,8 | + 0,1 | Nuageux, brouillard. | N. |
| 30 | 773,67 | — 2,0 | 99 | 773,53 | — 1,1 | 99 | 772,57 | — 0,8 | 99 | 773,06 | — 1,8 | 90 | — 0,7 | — 2,5 | Couvert, brouillard. | N. |
| 31 | 773,62 | + 2,8 | 99 | 373.44 | + 6,2 | 99 | 772,46 | + 6,6 | 99 | 772,02 | + 5,6 | 98 | + 6,6 | + 1,6 | pluie, brouillard. | S. |
| 1 | 770,27 | + 5,1 | 95 | 770,01 | + 7,0 | 91 | 769,75 | + 7,0 | 89 | 769,87 | + 5,1 | 95 | + 7,3 | + 3,5 | Moyennes du 1 au 10. | Pluie en centim. |
| 2 | 762,49 | + 2,0 | 96 | 761,67 | + 4,6 | 91 | 761,02 | + 4,7 | 89 | 760,80 | + 2,3 | 95 | + 5,1 | + 1,3 | Moyenn. du 11 au 20. | Cour, 2,613 |
| 3 | 762,93 | + 1,5 | 97 | 762,79 | + 3,3 | 95 | 762,58 | + 3,5 | 92 | 763,27 | + 1,7 | 97 | + 3,8 | + 0,1 | Moyenn. du 21 au 31. | Terrasse, 2,010 |
| | 765,15 | + 3,1 | 96 | 764,76 | + 4,9 | 92 | 764,39 | + 5,0 | 90 | 764,61 | + 3,0 | 95 | + 5,3 | + 1,6 | Moyennes du mois, + 3°,5. | |

# Lettre de *M.* Bérard *à M.* Gay-Lussac *sur les Usines de gaz inflammable de la houille.*

Monsieur,

Le zèle avec lequel vous cherchez à fournir, dans votre intéressant journal, des secours à ceux qui se livrent à la pratique des arts chimiques, vous a quelquefois engagé à traiter des questions qui concernaient plus particulièrement la partie commerciale de ces arts. C'est ainsi que vous avez publié l'état des recettes et des dépenses faites pour l'éclairage au gaz établi à l'hôpital Saint-Louis, afin d'encourager ceux qui pourraient avoir l'idée de former des établissemens de ce genre plus considérables. Vous savez que, malgré ce document authentique, M. Clément, dont les recherches ont si puissamment contribué aux progrès des arts chimiques, a émis, dans plusieurs écrits, l'opinion que les établissemens de ce genre ne pouvaient, à Paris, produire que des pertes. J'ai eu l'honneur d'assister à sa leçon du lundi 20 décembre dernier, dans laquelle il s'est efforcé de prouver cette assertion à ses nombreux auditeurs, en leur présentant un tableau comparatif des recettes et dépenses faites dans un établissement de Glasgow, avec celles qu'il supposerait devoir être faites dans un établissement de Paris, capable de produire autant d'éclairage. Voici ce tableau tel qu'il l'a présenté :

*Compte de l'éclairage au gaz de charbon.*

| | Glasgow (an 1820). | | Paris. |
|---|---|---|---|
| *Etablissement.* | 1,313,400 fr. | | 1,300,000 fr. |
| Houille | 80825 | 3,400,000 kil. à 55 f. | 187000 f. |
| Cornues | 10500 | | 21600 |
| Ouvriers manœuvres | 38825 | | 30000 |
| Administration | 11350 | | 25000 |
| Menues dépenses | 32125 | | 20000 |
| | 173625 | | 283600 |
| *Produits.* | | | |
| Lumière, 2400 becs à 106,50 | 256100 f. | 2400 becs à 78,25 | 187800 f. |
| Coak | 7475 | | 78400 |
| Vieilles cornues | 350 | | 3600 |
| Goudron | 1275 | | 1200 |
| Casuel (1) | 3275 | | » |
| | 268475 | | 271000 |
| Bénéfice | 94850 f. | Perte | 12600 f. |
| Soit 7,20 p. °/o. | | | Avec les intérêts. |

Il n'existe pas à Paris de grand établissement pour la fabrication du gaz du charbon qui ait acquis encore tout le développement qu'il doit avoir un jour d'après le plan des fondateurs. En effet, dans les trois grandes usines les constructions se continuent, et aucune n'éclaire la moitié du nombre des becs qu'elle est destinée à éclairer. C'est pour cette raison que les diverses compagnies n'ont pas pu publier leurs comptes comme celle de Glasgow; de sorte que c'est par des renseignemens pris dans l'usine royale et les autres usines, et par les

(1) Ce casuel provient du loyer de bâtimens compris dans l'intérieur de l'établissement.

inductions qu'il en a tirées, que M. Clément a établi l'état de recettes et de dépenses qu'il suppose devoir être faites dans un établissement construit à Paris et capable d'éclairer 2400 becs.

La conclusion qu'il a tirée de ce tableau a été surtout appuyée par le raisonnement suivant, qui était bien capable de séduire la plus grande partie de ses nombreux auditeurs. En Angleterre, les fabriques de gaz du charbon produisent presque toutes des bénéfices tout au plus aussi considérables que ceux des autres fabriques en général : or, si l'on considère combien la fonte est commune et à bon marché en Angleterre, et combien la richesse des mines de charbon et la facilité des communications rendent ce combustible à bas prix dans tous les points de cette île, et qu'on fasse attention que ces deux objets seront, pendant long-temps et peut-être toujours, à un prix double dans Paris, cette seule observation suffira pour convaincre qu'une fabrique qui emploie la houille seule pour matière première et pour combustible, et la fonte pour presque tous les ustensiles, peut prospérer dans le premier pays, et ne donner que des pertes dans l'autre.

Vous concevez, Monsieur, quelle influence peuvent exercer des raisons présentées avec tant d'art, et par un savant dont les méditations ont été si souvent dirigées vers les progrès de l'industrie manufacturière. Comme les données que j'ai maintenant acquises dans les ateliers de l'usine royale me permettent de corriger quelques-unes des bases sur lesquelles M. Clément s'est appuyé, j'ai pensé que vous voudriez bien accueillir dans votre journal ma réfutation, puisqu'elle peut contribuer aux

progrès d'un art nouveau auquel tous les chimistes doivent s'intéresser. Je me flatte que M. Clément connaît assez mon estime pour ses talens, et j'ose dire mon attachement pour lui, pour me supposer une autre intention.

Une remarque importante à faire d'abord relativement à la fonte et au fer, c'est que la plupart des ustensiles de ces métaux tels que les barillets, les conduites dans les rues, les gazomètres, etc., ne se détruisent pas sensiblement, et que par conséquent l'effet immédiat du plus haut prix de ces métaux en France, c'est d'augmenter le capital primitif qui sert à construire les établissemens d'éclairage : or, il faut bien qu'on trouve, dans ce dernier pays, une compensation, soit dans le prix moins élevé de la main d'œuvre, de la charpente, de la maçonnerie, etc.; car, d'après le tableau précédent, l'usine de Glasgow, capable d'alimenter 2400 becs semblables à ceux de Paris, a coûté 1,313400 francs, et l'usine royale, qui, dans son état actuel, peut éclairer 2800 becs, a coûté 1,200000 francs. Elle a été en effet formée par une société de cent vingt actions de 10000 fr. chacune. Si les administrateurs ont jugé convenable, dans ces derniers temps, de faire un nouvel appel de fonds, c'est pour augmenter les ateliers et les conduites, et par suite l'éclairage. A la vérité, on pourrait dire que la Compagnie royale ayant acquis cette usine de la Maison du Roi, le capital doit, dans cette vente, avoir éprouvé une perte. Mais cette usine, quand la Maison du Roi l'a vendue, était loin d'être achevée, et quelque perte qu'on suppose que le capital ait éprouvée, elle ne pourrait jamais mettre ce capital et celui de l'usine de Glasgow,

prise pour terme de comparaison, dans la proportion que devrait établir le prix du fer et de la fonte dans ces deux villes.

Cependant il y a des ustensiles de fonte qui sont d'une consommation journalière : je veux parler des cornues, dont la destruction par l'action continue de la chaleur doit nécessairement augmenter la dépense annuelle des établissemens de Paris, où la fonte est plus chère et moins bonne. Je ne doute pas que ce surcroît de dépense ne soit compensé par le plus bas prix de la main-d'œuvre. En effet, on n'a besoin, dans ce genre d'ateliers, pour la plus grande partie, que de simples manœuvres sans aucune connaissance ni expérience : or, il est généralement reconnu que le prix de ce genre d'ouvriers est moindre à Paris que dans toutes les parties de l'Angleterre. Si on s'en rapportait au tableau de M. Clément, la compensation, à cet égard, serait presque complète. Mais quand elle ne le serait pas, je ne croirais pas devoir insister davantage, parce que ce n'est pas à cet objet qu'il faut rapporter la grande différence que M. Clément a trouvée dans les résultats de la fabrication du gaz dans les deux pays.

Je me hâte d'arriver au charbon, qui est l'objet le plus important. On ne trouve pas dans le tableau la quantité (en poids) de charbon que l'établissement de Glasgow a consommée. Mais sa valeur suffit ici, puisqu'elle a été prise dans un document authentique : ce sont les comptes publiés par la Compagnie qui possède l'établissement. Il en résulte qu'à Glasgow on a dépensé en charbon dans un an, pour faire le gaz nécessaire

pour alimenter 2400 becs, une somme de. . . . 80825 f.
On a vendu le coak qui en est résulté. . . . . 7475

Reste, pour la dépense nette du charbon. . 73350 f.

Quant au compte de l'établissement de Paris, voici comment M. Clément nous a dit qu'il l'avait fait. L'éclairage moyen d'un bec qui s'éteint à 11 heures, est de 4 heures et demie. Chaque kilogramme de charbon fournit 6 pieds cubes ; chaque bec use 5 pieds cubes de gaz par heure. Ainsi on n'est pas loin de la vérité en admettant que chaque bec use par heure un peu moins de gaz que celui que fournit un kilogramme de charbon ; et que, dans une soirée moyenne, il doit user celui qui est fourni par 4 kilogrammes ; ce qui, pour 2,400 becs, fait par jour 9,600 kilog., et par an 3,400,000 kilog. Vous sentez que quand les multiplicateurs sont si considérables, pour peu qu'on élargisse la donnée primitive, on arrive à des résultats erronés.

Voici comment, avec les données qui me sont fournies par les registres de fabrication de l'usine royale, et que j'ai eu l'avantage de mettre sous les yeux de M. Clément, je fais le compte de mon côté. 2,400 becs, à 4 heures et demie d'éclairage moyen par soirée, équivalent à 10,800 heures. Les becs adoptés par toutes les compagnies de Paris usent moins de quatre pieds cubes de gaz à l'heure. A l'usine royale, où la consommation de gaz est la plus considérable, à cause sans doute de l'imperfection de ses conduits, la consommation d'un bec dépasse à peine 4 pieds cubes par heure : ainsi en admettant quatre pieds cubes et un quart, je suis dans les limites les plus défavorables à mon opinion. Il résulte de là que pour 10,800

heures, à 4 kilog. par heure, il faudrait 45,900 pieds cubes. Or, chaque kilog. de charbon fournissant 6 pieds cubes, il faudra par jour le sixième du nombre précédent, ou 7,650 kilog. de charbon. Multipliant ce nombre par 300 jours ouvrables de l'année (1), on obtient 2,295,000 kilog. de charbon par an.

L'usine royale n'emploie que du charbon connu dans le commerce sous le nom de *griseuil fine forge gailleteuse*. Il se vend à la mesure; elle le paye 4 fr. 40 cent. l'hectolitre, et son marché a été conclu dans une circonstance favorable au vendeur. L'hectolitre de ce charbon pèse exactement 80 kil. La quantité que nous avons évaluée précédemment pour une année équivaut donc à 28,687 hectolitres, qui, à 4 fr. 40 cent. l'hectolitre, valent 126,222 fr. 80 cent.

Mais comme un hectolitre de charbon mesuré *raz* donne 1 hect. 40 de coak mesuré *comble*, il en résulte que cette quantité de charbon aurait fourni 40,162 hectolitres de coak. Maintenant à l'usine royale on ne se sert pas d'autre combustible que du coak, et M. Clément a pu s'assurer lui-même par le registre de la fabrication qu'on brûle dans cette usine pour distiller une quantité donnée de charbon moins de la moitié du coak qu'il pourrait fournir, le reste est vendu aux grands

---

(1) M. Clément a annoncé qu'il avait pris, dans les tarifs publiés par la Compagnie royale, le prix du bec qu'il porte sur son tableau : or, comme il a choisi celui de 78 fr. 25 c., il est évident que son intention était d'appliquer son calcul aux becs qui ne sont allumés ni les dimanches ni les fêtes; car cela est ainsi expliqué dans le tarif.

consommateurs au prix moyen de 2 fr. 85 cent. l'hectolitre. Ainsi sur les 40,162 hectolitres de coak on en pourrait vendre 20,081, qui, à 2 fr. 85 cent., produiraient 57,230 fr. 80 cent.

Maintenant si on retranche cette recette fournie par le coak de la dépense totale employée à l'achat du charbon, nous trouvons 68,992 fr. pour la dépense nette du charbon, tandis que nous avons vu plus haut que la dépense nette pour le même objet dans l'usine anglaise prise pour comparaison était de 73,350 fr.; il est donc vrai de dire que la matière première coûte moins aux fabricans de gaz de Paris qu'à ceux d'Angleterre.

On a pu craindre un moment que tout le coak que pourraient fabriquer les usines d'éclairage ne trouverait pas dans Paris un débit assuré. Je puis dissiper complètement les doutes que quelques personnes pourraient encore conserver à cet égard, en leur apprenant qu'on s'est maintenant si bien habitué à ce combustible dans l'économie domestique et dans quelques arts, que l'usine royale peut à peine satisfaire à toutes les demandes qui lui sont faites, et qu'elle en a vendu dans l'année 1824 plus de 35,000 hectolitres.

Si on introduit dans le tableau les nouveaux nombres que je viens de trouver pour la dépense du charbon, et qui sont calculés sur des données positives, il en résultera, non une perte, mais un bénéfice, qui sera cependant encore moindre que celui de l'usine de Glasgow. Cela tient à ce que la lumière d'un bec se vend à Glasgow 106 fr. 50 cent. par an, tandis qu'elle ne se vend à Paris que 78 fr. 25 cent., quoique les becs soient supposés, dans l'un et l'autre pays, donner à très-peu près la même lumière.

Ces considérations me semblent mettre inévitablement ceux qui soutiennent que les fabriques de gaz ne peuvent pas produire de bénéfice à Paris dans une position bien différente de celle dans laquelle ils s'étaient placés. Ils ne pourront plus dire, en effet, que ces bénéfices sont impossibles, parce que la matière première des ustenciles et de la fabrication se vend le double à Paris, puisque nous avons prouvé qu'il y avait des compensations qui balançaient cet inconvénient; et il faudra, s'ils persistent dans leur opinion, qu'ils soutiennent maintenant que l'éclairage au gaz sera toujours plus cher en Angleterre.

Me permettrez-vous d'examiner un instant la question sous ce point de vue ? Le prix auquel doit se fixer l'éclairage est nécessairement relatif à la quantité de lumière qu'il fournit comparativement à celle que donnent les autres procédés connus de s'éclairer. Or, comme l'huile, le suif, la graisse, la cire ne sont pas à des prix plus élevés en Angleterre qu'à Paris, il en résulte que la lumière qu'on se procure par ces corps doit être à très-peu près au même prix dans les deux pays; et si la lumière, autre que celle du gaz, vaut autant, celle du gaz, si elle est aussi intense, doit aussi avoir la même valeur.

Les causes pour lesquelles le gaz se vend au-dessous de sa valeur à Paris sont bien connues. On sait que le premier établissement un peu considérable qui y ait été construit est l'usine royale; qu'elle fut fondée par la maison du Roi. Les personnes à qui on en avait confié l'exécution le firent avec tout le talent qu'on devait attendre de noms aussi recommandables; mais le but de ces premiers efforts dut être plutôt de parvenir à éclairer

par ce nouveau moyen que de le faire avec bénéfice ; et, d'un autre côté, quand il n'y avait qu'un seul établissement qui fabriquât du coak, ce combustible se vendait au prix élevé de 60 fr. la voie, même 66 ; soit 4 fr. ou 4 fr. 40 c. l'hectolitre. Cet avantage considérable devait encore décider à laisser le prix de l'éclairage très-bas. Les diverses compagnies qui ont depuis acquis l'établissement de l'usine royale, ou qui en ont formé d'autres, n'ont pu élever le prix de la lumière que graduellement, quoique le coak soit bientôt arrivé à sa valeur réelle, parce qu'il était important de ne pas rebuter les consommateurs du gaz, qui étaient d'ailleurs assez sollicités à abandonner un mode d'éclairage contre lequel une espèce de ligue s'était formée. Maintenant que cette opposition s'affaiblit tous les jours, on est plus que jamais fondé à concevoir des espérances, d'autant que la première compagnie qui s'est déterminée à porter le prix de l'éclairage au gaz à 6 cent. par heure au lieu de 5, a déjà contracté plusieurs engagemens à ce prix.

Mais ces espérances ont encore un fondement plus solide ; c'est que la lumière du gaz a réellement une valeur presque double de celle que le consommateur la paye aujourd'hui. En effet, tout le monde sait qu'un bec de quinquet ordinaire use par heure au moins 30 grammes (une once) d'huile épurée telle qu'on la vend à Paris pour les lampes : ces 30 grammes d'huile valent, dans ce moment où l'huile est au prix le plus bas où on l'ait vue depuis long-temps, 0f.,035, ajoutant à cela l'usure de la mèche, celle de la lampe, la main d'œuvre pour la garnir, on peut porter à 0f.,04 le prix de la lumière qu'un quinquet donne dans une heure. Or, un

bec de gaz, tels qu'ils ont été adoptés par les compagnies de Paris, donne, terme moyen, deux fois et demie plus de lumière qu'un quinquet qui n'userait qu'une once d'huile par heure. C'est une explication que j'ai déterminée moi-même plusieurs fois par l'intensité des ombres. J'ai cherché dans cette détermination à prendre pour modèle la manière de M. Fresnel, que j'ai eu l'avantage de voir opérer lorsqu'il est venu à l'usine faire quelques expériences sur ses phares. Il avait alors apporté le quinquet qui lui a toujours servi de terme de comparaison et une lampe Carcel de M. Wagner. Je les comparai l'une et l'autre au moment de leur plus grand éclat avec un bec de gaz alimenté par nos grands gazomètres, et je trouvai que lorsque la flamme du bec de gaz était élevée jusqu'à un centimètre de l'extrémité de la cheminée, comme on le fait dans les boutiques, et dans les théâtres, la lumière du bec de gaz était à celle du quinquet dans le rapport de 1,68 à 1, et à celle de la lampe Carcel dans le rapport de 1,40 à 1. Je m'assurai que le quinquet brûlait 42 grammes d'huile par heure; je ne me trouvai pas dans le moment de balances assez fortes pour peser la lampe de Carcel, et déterminer la consommation, quant au gaz qui alimentait le bec qui servait de comparaison; 4 pieds cubes étaient nécessaires pour la consommation d'une heure, et, d'après l'analyse que j'en fis alors, il exigeait, pour sa combustion complète, 120 p. d'oxigène pour 100. D'après cette donnée sur l'exactitude de laquelle je ne conserve aucun doute, si la valeur de la lumière d'un bec d'Argand usant 30 gr. d'huile à l'heure est de $0^{f},04^{c}$, celle d'un bec de gaz ordinaire doit valoir, terme moyen, près de

0,10c. L'éclairage au gaz a d'ailleurs assez d'avantages par lui-même pour qu'on ne soit pas obligé d'en baisser le prix réel pour le faire entrer en concurrence avec les autres éclairages.

Il faudra sans doute encore quelque temps avant que le public soit bien convaincu du résultat avantageux dont je viens de parler, et que le prix de la lumière du gaz arrive au point qu'il ne peut manquer d'atteindre. Mais je suis persuadé que la propre expérience de ceux qui auront employé les deux modes d'éclairage ne les laissera pas long-temps dans l'indécision du choix pour le gaz, supposé même à sa valeur réelle. Sous ce rapport, les compagnies qui exploitent ce nouveau genre d'industrie peuvent espérer les plus grands avantages de l'expérience que le théâtre Faydeau va nous offrir. Tout le monde sait que ce théâtre était éclairé par le gaz de la Compagnie royale. Le nouveau directeur, sous le prétexte de l'économie, a remplacé cet éclairage par celui des lampes. On a choisi celles qui sont armées de becs connus maintenant des lampistes sous le nom de *becs sinombres*. Ces becs ont environ une ligne de plus de diamètre que ceux des quinquets ordinaires et de Carcel, ce qui rend le courant d'air intérieur plus considérable, tandis que, par un arrangement particulier du support de la cheminée, le courant d'air extérieur est moindre que celui des lampes dont je viens de parler. Cette disposition fait que ce genre de lampes donne réellement plus de lumière que les quinquets ordinaires et autant que les Carcel; mais cet avantage est acheté par une consommation d'huile qui est hors de proportion avec l'augmentation de lumière,

ainsi que je m'en suis assuré par l'expérience suivante :

J'ai allumé à la fois, 1°. un bec de gaz du calibre reçu, alimenté par un des grands gazomètres de l'usine (1); 2°. une lampe semblable à celles qui sont maintenant employées à l'éclairage de Faydeau, et garnie de la même huile qu'on use à ce théâtre; 3°. un quinquet ordinaire garni de la même huile. Dans les trois becs on a rendu la flamme haute, mais sans produire la moindre fumée apparente. La quantité de lumière produite par ces trois appareils a été déterminée par les moyens ordinaires, à diverses époques de l'expérience. On a obtenu les résultats suivans :

| | Lumière fournie | | |
|---|---|---|---|
| | Par le bec de gaz. | Par le bec sinombre. | Par le quinquet. |
| Après un quart d'heure, | 1 | 0,76 | 0,62 |
| Après une heure, | 1 | 0,70 | 0,58 |
| Après deux heures, | 1 | 0,60 | 0,50. |

L'expérience a duré deux heures et demie. Dans cet espace de temps,

La lampe à bec sinombre a usé 145 gramm. d'huile ;
Le quinquet ordinaire....... 105 gram. d'huile (2).

---

(1) Ce gaz était tel qu'il exigeait, pour sa combustion complète, 123 d'oxigène sur 100.

(2) On sent que la qualité de l'huile doit avoir de l'influence sur ce résultat. En effet, ayant répété plusieurs fois cette expérience avec des huiles différentes, j'ai trouvé tantôt une consommation plus forte, tantôt une consommation plus faible.

Il est démontré, par ce résultat, que l'augmentation de lumière qu'on obtient avec la lampe à bec sinombre est moindre que celle que l'excès d'huile qu'elle consomme dans un temps donné, comparativement au quinquet ordinaire, aurait dû naturellement produire; d'où il résulte qu'il y a réellement plus d'avantage à s'éclairer avec des quinquets qu'avec des lampes à bec sinombre.

Comparons maintenant, d'après cette donnée, la valeur de l'éclairage actuel de Faydeau avec celle de son précédent éclairage au gaz.

| | |
|---|---|
| Il y a dans les corridors ou les autres parties de la salle. | 115 lampes. |
| au lustre | 68 |
| En tout | 183. |

Chacune de ces lampes doit user, d'après mon expérience, dans les cinq heures des représentations, 290 grammes d'huile (1), et les 183 lampes doivent en user par soirée, terme moyen, 53 kilogr., qui, à 55 fr. les 50 kil., coûteront 58 fr. 30 c. Voilà la dépense de la soirée.

Pendant que ce théâtre était éclairé par le gaz de la Compagnie royale, elle avait fait un marché si avantageux pour l'Administration du théâtre, qu'elle n'en recevait que 30 fr. par soirée. Il y avait alors dans toute la

(1) Il est clair que si au théâtre on élève moins les flammes des lampes que je ne l'ai fait dans mon expérience, on usera moins d'huile; mais aussi on produira moins de lumière, ce qui revient au même pour le calcul qu'on fait ici.

salle 145 becs de gaz, qui, d'après l'expérience précédente, donnaient un éclairage moyen égal à celui de 213 lampes semblables à celles qui sont aujourd'hui en usage. On fera donc à ce théâtre, par le nouvel état des choses, près de deux fois plus de dépense pour avoir une lumière moindre d'environ un sixième. Observez de plus que le nouvel éclairage exige plus de main-d'œuvre, un surcroît de dépense pour les mèches, etc., et enfin, que les pertes d'huile accidentelles seront maintenant supportées par l'Administration du théâtre, tandis qu'auparavant les pertes de gaz étaient au compte de la Compagnie royale.

Je crains, Monsieur, que vous ne trouviez que je suis entré dans beaucoup de détails un peu étrangers à la science; ce qui peut me rendre excusable, c'est qu'il me paraît qu'ils seront utiles à l'art naissant encore de l'éclairage par le gaz. En effet, les considérations que je viens d'avoir l'honneur de vous présenter doivent démontrer à tout le monde,

1°. Que le bas prix de la main-d'œuvre et le haut prix du coak, dont la vente est cependant assurée à Paris, mettent les usines d'éclairage au gaz du charbon établies dans cette ville dans une position plus favorable, à cet égard, que celles d'Angleterre;

2°. Que si l'éclairage au gaz, à Paris, doit rester au bas prix auquel il est maintenant, les usines de Paris feront des bénéfices moindres que celles d'Angleterre, et il sera nécessaire, pour qu'elles prospèrent, qu'elles soient établies sur une grande échelle. Mais il est très-vraisemblable que cet état de choses ne peut durer, puisque l'intérêt bien entendu des consommateurs ne

s'opposera pas à ce que le prix de l'éclairage au gaz ne s'élève aussi haut et même plus haut qu'il n'est maintenant en Angleterre, et qu'alors les usines de Paris seront, de tous côtés, dans des circonstances plus favorables pour prospérer.

Je vous prie d'agréer, etc.

---

## MÉMOIRE *sur la Fermentation du Sucre.*

(Lu à l'Académie des Sciences le 31 janvier 1825, par M. COLIN, professeur à l'Ecole royale militaire.

JE vais commencer mon exposition en rappelant ce qu'on doit aux chimistes qui ont le plus récemment traité le sujet dont je m'occupe aujourd'hui.

D'abord M. Fabroni a eu l'ingénieuse pensée de disséquer le grain du raisin, et il a vu, dit-il, que le principe sucré et le ferment se trouvent placés dans ce fruit chacun à part, dans des espèces de loges ou cellules, et que la fermentation vineuse ne pourrait s'y établir si, par une cause quelconque, les cloisons de séparation n'étaient rompues. Ce qui explique comment il arrive qu'il y ait peu ou point d'alcool dans le grain de raisin lorsqu'il a été abandonné à lui-même sans avoir été écrasé. Alors il se flétrit, se dessèche ou se décompose; le ferment et le sucre, en grande partie du moins, s'y détériorent chacun isolément, et il n'en résulte qu'une *blétissure* ou pourriture, et non une fermentation alcoolique régulière et complète, telle qu'elle aurait

eu lieu par le mélange intime de ces deux corps. Ce même chimiste a attribué au tartre un rôle dans la fermentation, comme, au reste, Bullion l'avait fait avant lui, et il a reconnu au gluten une vertu fermentante. M. Taddeï a trouvé depuis peu que le gluten se décompose par l'alcool en *gliadine* qui s'y dissout, et en *zimôme* qui ne s'y dissout point : ce sont les noms qu'il donne aux deux corps qu'il en sépare ainsi. L'une et l'autre se comportent avec le sucre à-peu-près comme le gluten ; c'est avec le *zimôme*, dit-il, que la fermentation est la plus marquée. Le gluten est le résultat de la combinaison de ces deux principes. (Voyez *Journal de Pharmacie*, 5e année, décembre 1819, pag. 565.)

M. Thenard a établi de son côté que tous les fruits dont le suc est susceptible de donner lieu à une fermentation spiritueuse, contenaient tous du sucre et du *ferment*, substance dont le type, d'après lui, est la levure de bière ; qu'ils contenaient tous un excès de ce dernier, qui se déposait en partie pendant l'alcoolisation du sucre ; et qu'enfin en le mêlant de nouveau à un excès de sucre, le dépôt, après cette dernière épreuve, ne se trouvait plus capable d'exciter la fermentation ; qu'il se rapprochait alors du principe ligneux, tandis qu'auparavant il était azoté au point de donner à la distillation une quantité notable de sous-carbonate d'ammoniaque ; qu'il lui avait paru qu'une ébullition de quelques minutes enlevait à son *ferment* la propriété fermentante, et que l'eau qui avait bouilli dessus n'était point susceptible d'opérer la transformation du sucre en alcool. De plus, M. Thenard a déterminé les doses les plus convenables d'après lesquelles le ferment, l'eau et le sucre doivent être mê-

lés pour produire l'alcoolisation ; il a mesuré l'alcool et l'acide carbonique (seul produit gazeux de cette opération), et enfin il a regardé le ferment comme un corps toujours identique à lui-même, et jouissant de la propriété de transformer l'oxigène en acide carbonique, à une température ordinaire et dans l'espace de quelques heures.

M. Armand Séguin affirme en outre que le ferment des fruits est soluble et que celui de bière ne l'est pas : ce qui le porte à regarder le ferment comme étant tantôt soluble et tantôt point. Le premier passe à l'état du second par les progrès de la fermentation. (CHAPTAL, *Art de faire le vin*, pag. 113.)

Enfin M. Gay-Lussac a depuis observé qu'il fallait, outre les conditions précédemment énoncées et une élévation convenable de température, la présence d'une quantité quelconque d'air ou d'oxigène, afin qu'il s'établit entre les matières en présence un mouvement spontané. Il a remplacé cette action de l'air par celle d'un courant galvanique, et l'a fait avec succès.

Le ferment est donc une matière propre à déterminer la fermentation vineuse, et sans laquelle cette opération ne s'effectuerait pas. On croit aussi qu'il est nécessaire pour déterminer la fermentation acéteuse; car, d'après M. Chaptal, un bon vin vieux du Midi ne peut passer de lui-même à l'acescence; et feu M. Cadet Gassicourt a trouvé qu'un mélange d'eau, de sucre et de levure, le tout en doses convenables, donnait un vinaigre d'excellente qualité. L'on prétend même qu'en Suède l'acétification de l'eau-de-vie au moyen de la levure est une pratique généralement adoptée. M. Chaptal indique

aussi le mélange d'un litre d'eau-de-vie à 12 degrés, de 15 grammes de levure de bière et d'un peu d'empois, comme un moyen expéditif pour obtenir un fort bon vinaigre. (Chaptal, *Art de faire le vin*, pag. 266.) Cependant les Orléanais n'emploient à cet usage d'autre *ferment* que le vinaigre lui-même, en sorte que si ce produit fait passer à l'acescence un vin vieux pareil à celui dont nous avons parlé, il faut en conclure que le vinaigre et le ferment, chacun de leur côté, sont des fermens acéteux, à moins qu'on n'admette la présence naturelle de la levure dans le vinaigre. C'est ce que l'origine de celui-ci rend extrêmement probable; car la lie que le vin dépose en vieillissant convertit le sucre en alcool. D'ailleurs, nous avons voulu déterminer l'acidification d'un vin vieux et généreux par le seul effet de l'acide acétique, et nous n'avons point réussi, même après avoir prolongé l'expérience pendant un mois. Ajoutons que, d'après le témoignage de M. Chaptal, lorsque ce vin, qui n'avait pu passer de lui-même à l'acescence, eut servi à infuser des feuilles de vignes, il ne tarda pas à s'acidifier; mais devons-nous supposer, parce qu'il en est ainsi, que c'est précisément de la levure qu'il y rencontra? Si une expérience où M. Chaptal alcoolisa du sucre par des feuilles de vigne porte à le croire (*Art de faire le vin*, pag. 126), elle ne le prouve pas nécessairement: c'est ce qui sera mieux développé dans la suite de ce Mémoire. Je reviens à mon sujet principal. Il est d'un usage constant chez les hordes tartares de retirer de l'eau-de-vie du lait de vache, et mieux encore du lait de jument. Il suffit en été, pour que l'alcool s'y développe, que le lait soit aigri, circonstance impor-

tante, puisque, d'après M. Vogel, le sucre de lait ne peut se transformer en véritable sucre sans l'intermédiaire d'un acide. Ce qui explique une expérience de Macbride dans laquelle il imprégna d'acide carbonique du petit-lait doux, et l'abandonna ensuite à lui-même pendant un an, temps au bout duquel il le trouva converti en esprit. Si donc le lait aigri spontanément fermente sans addition, la levure n'est pas le seul ferment qui puisse transformer le sucre en alcool. D'ailleurs, le miel fermentant sans addition autre que celle de l'eau, quel est encore le ferment qui le change en hydromel vineux (1)? On peut croire, à la vérité, que le miel a pris dans les plantes où il a été puisé la levure qui lui était nécessaire, et que le ferment et la matière caséeuse sont identiques; mais cette supposition toute gratuite, quant à présent, ne peut servir à expliquer d'une manière satisfaisante les résultats suivans, qui ne sont pas moins avérés.

1°. De la pâte de farine fine de froment ayant été préparée sans levain, a pris une saveur sucrée au bout de trente-six heures; en l'abandonnant encore quelques jours à elle-même, elle est devenue aigre, puis elle a servi de levain à de la pâte récente, et celle-ci s'étant promptement aigrie, on l'a employée pour transformer en alcool 100 grammes de sucre dissous dans 400 gram.

---

(1) Dans l'expérience que j'en ai faite, j'avais ajouté au miel un poids d'eau quadruple du sien : elle a duré un mois. Il arrive souvent que le miel fermente, même sans addition d'eau; mais il faut alors plus de temps pour que ce mouvement spontané s'y détermine.

d'eau. Le dernier changement, qui s'est opéré en un mois, m'a engagé à faire sur le gluten les expériences dont je vais parler.

2°. L'on se rappelle sans doute que M. Vauquelin a trouvé de l'alcool dans l'eau surè des amidonniers, et que MM. Berthollet, Fabroni et Taddeï regardent le gluten comme un ferment. J'ai, en effet, dans l'espace d'un mois, converti en alcool 100 grammes de sucre dissous dans 400 grammes d'eau et mêlés à 60 grammes de gluten frais et parfaitement lavé. L'expérience s'en est faite pendant les grandes chaleurs de l'été; elle s'est achévée en moitié moins de temps lorsque le ferment, étant pesé frais, a été, avant d'être mêlé au sucre, abandonné huit jours à une putréfaction déterminée par la présence de l'eau dont il était imprégné et recouvert. Si donc le gluten peut ainsi remplacer le ferment, rien jusqu'ici n'empêche qu'on ne les croie identiques. Mais voici d'autres faits pour lesquels ces hypothèses, auxquelles je viens de me prêter, seraient absurdes.

3°. De la viande de bœuf étant fraîche et mêlée au sucre et à l'eau, dans les mêmes rapports que le gluten dont nous parlions à l'instant, la conversion du sucre en alcool s'est effectuée en trois semaines. La viande en ayant été séparée par décantation, on l'a exprimée à la main, puis lavée légèrement, en sorte qu'on a pu s'en servir pour alcooliser même quantité de sucre que devant : la marche de la fermentation a encore été la même, mais cependant un peu moins lente.

4°. Une glaire d'œuf ayant été délayée dans 500 gram. d'eau et mêlée à 100 grammes de sucre, il a fallu plus

de deux mois pour que le sucre fût converti en alcool; mais encore s'en est-il formé.

5°. Du fromage *à la pie* bien égoutté, provenant d'un peu moins d'un litre de lait abandonné à lui-même pendant trois jours, a été délayé dans une dissolution faite avec 100 grammes de sucre et 400 grammes d'eau, et la fermentation s'y est accomplie en trois semaines. Cependant le caséum, la fibrine et l'albumine sont des matières distinctes, comme le prouvent les analyses exactes qui en ont été faites par MM. Thenard et Gay-Lussac. J'ai substitué le petit-lait au fromage, et je n'ai pas à beaucoup près aussi bien réussi; ce qui me porte à croire que le petit-lait n'a agi qu'en raison d'un peu de matière caséeuse qu'il tenait en dissolution.

6°. Un peu moins d'un litre d'urine de la nuit, provenant d'une personne bien saine, a été mêlé avec 100 grammes de sucre. La fermentation s'y est établie, et s'est achevée en un mois. Or, qu'on attribue ce changement spontané au mucus ou à l'urée contenus dans ce liquide, il faut encore ici admettre un nouveau ferment. L'expérience a été faite deux fois alternativement sur deux urines provenant de l'un et de l'autre sexe.

7°. Enfin 30 grammes de colle de poisson ayant été délayés dans l'eau nécessaire à cet effet, on leur a mêlé 100 grammes de sucre et ajouté assez d'eau pour que la totalité de celle-ci fît un peu moins d'un litre. Cette expérience a duré quatre mois.

Toutes ces épreuves ont donné lieu à un dégagement d'acide carbonique, d'où l'on doit inférer qu'il a été lent; ce qui est vrai. Toutes ont été faites pendant les ardeurs de l'été, hormis une seule, et c'est la dernière

pour laquelle on a employé l'étuve, la saison étant déjà trop avancée. Toutes ont donné de l'alcool à la distillation; et j'ajouterai que, dans toutes, les résidus de distillation, quels qu'ils fussent, ont encore subi d'eux-mêmes une fermentation vineuse, preuve que l'alcool arrête la fermentation, et que si l'ébullition la suspend elle n'en détruit pas la cause. Je m'en suis assuré directement par deux essais, dans l'un desquels la viande jouait le rôle de ferment, tandis que le fromage mou le faisait dans l'autre. En effet, après avoir arrêté ces fermentations au moyen de l'ébullition, et les avoir conservées une dixaine de jours dans cet état, je leur ai rendu l'activité par le contact de l'air dans un temps à-peu-près égal à celui qu'elles avaient mis d'abord à se produire.

Ces expériences ne marchent que par une température d'au moins 25 à 26° centésimaux; il faut même 35 à 40° pour qu'il y ait fermentation dans le mélange de sucre et de colle de poisson; elles sont généralement terminées au bout de deux mois; quelques-unes le sont plus tard, comme on l'a vu dans la dernière; et quelques autres le sont plus tôt lorsque la température est plus convenable et mieux soutenue. En les répétant avec de nouveaux soins, j'ai obtenu même quantité d'alcool à des degrés peu différens, lorsque la fermentation était accomplie, soit que j'employasse de la levure ou quelques-uns des fermens indiqués, savoir : l'albumine, le fromage mou, l'urine, et notamment le gluten tartarisé, je veux dire mêlé à la crême de tartre, l'albumine coagulée et putréfiée, la gliadine, et surtout l'albumine tartarisée. Je n'ai pas trouvé que le zimôme l'emportât en cela sur le gluten; et d'ailleurs je suis loin de le re-

garder comme identique à la levure, ou même comme pouvant la remplacer dans la production d'une fermentation rapide. J'ai depuis exécuté pareilles expériences sur la fibrine pure, sur le sérum du sang, sur ses caillots, sur sa matière colorante, sur l'osmazôme, et j'ai eu des résultats analogues. Voici ce que m'ont offert de particulier les expériences sur le sang et sur la fibrine : le sérum et surtout la fibrine n'ont déterminé que très-lentement la fermentation du sucre; mais elle s'est établie avec quelque rapidité lorsque l'un ou l'autre sont restés imprégnés de la matière colorante du sang. Elle a été plus rapide encore lorsque, ayant comprimé fortement les caillots du sang et les ayant lavés deux fois pour les purger de sérum autant que possible, on y a ajouté un peu d'eau, et que cette dernière, chargée d'une portion de matière colorante, a été employée comme ferment. Enfin, dans l'opération où la fibrine servait d'excitant, le mélange ayant été distillé après avoir duré un mois de plus que les autres, le résidu, abandonné à lui-même pendant six semaines à une température convenable, sans addition, a donné, par une nouvelle distillation, un produit égal en force et en quantité à celui qu'avait fourni la distillation primitive, chose importante à connaître, et sans laquelle il est impossible d'évaluer ce qu'une quantité donnée d'un pareil mélange peut fournir d'alcool. J'en dis autant de tous les autres essais analogues, et particulièrement de ceux où les fermens n'ont presque point d'intensité.

J'aurais desiré pouvoir présenter un tableau des degrés d'énergie avec lesquels ces diverses matières alcoolisent le sucre; mais cette comparaison présente des difficultés,

et je ne suis pas encore en mesure de la faire. Je peux néanmoins affirmer, d'après des expériences bien comparables, commencées en même temps, soumises aux mêmes variations de température, distillées en même temps, de la même manière, en recueillant le même volume de produit et ne s'arrêtant cependant que lorsqu'il n'arrivait plus que de l'eau ; je puis, dis-je, affirmer que l'albumine tartarisée l'emporte sur l'albumine coagulée et putréfiée, celle-ci sur l'albumine glaireuse, et cette dernière sur l'albumine coagulée. On peut affirmer aussi, par la même raison, que la gliadine l'emporte en cela sur le zimôme, et enfin le gluten tartarisé sur le gluten. D'autres expériences nous apprennent que le gluten convenablement putréfié l'emporte sur le gluten frais.

J'ai vainement tourmenté l'albumine par l'acide acétique, par l'ammoniaque, etc., et je n'en ai jamais pu tirer quelque chose qui valût mieux qu'elle comme ferment. Loin d'augmenter ainsi sa vertu, je l'ai plutôt gênée ou détruite. Je n'ai pas mieux réussi en mêlant deux à deux, trois à trois presque toutes les substances qui ont fait le sujet de cet écrit.

S'il est permis de tirer quelques conséquences de ces faits, n'est-il pas évident que plusieurs matières animales distinctes peuvent exciter dans le sucre la fermentation alcoolique, et qu'elles paraissent y produire un effet d'autant moins lent qu'elles ont atteint un certain degré de dissolution ? N'est-il pas à présumer que toutes les matières organiques azotées sont dans le même cas ? Et ne serait-il pas convenable d'observer si certaines matières organiques non azotées pourraient

exciter dans le sucre de pareils mouvemens ? Je me propose donc de rechercher, par l'expérience, si toute matière organique en décomposition spontanée, étant mêlée au sucre et à l'eau, peut y produire la fermentation vineuse. Je n'ai fait qu'un seul essai de ce genre sur une matière non azotée (il a été négatif.) Enfin, je terminerai en rappelant qu'un ferment doit être considéré comme une matière dont la présence détermine une rupture d'équilibre : or, comme la quantité de levure que l'on emploie ordinairement est très-petite, une pareille rupture ne peut se comprendre, si elle n'est le résultat d'une force dont les effets se transmettent en faisant entrer successivement dans un état particulier toutes les molécules constituantes du corps fermentescible, telle que serait, par exemple, une force électrique.

Je suis fortifié dans cette opinion par deux observations remarquables faites par M. Gay-Lussac, savoir : 1°. que la fermentation ne s'établit point s'il n'y a de l'air ou plutôt de l'oxigène en présence; et 2°. que cependant on y supplée par un courant galvanique : or, puisqu'une seule bulle d'air suffit à l'effet initial, j'en infère que l'action chimique de cet air ne détermine la fermentation qu'en produisant une expansion du même genre. Je ne vois pas, en effet, pourquoi l'oxidation du ferment ou de ses principes ne produirait pas de l'électricité, tandis qu'elle est une condition nécessaire de l'action de la pile. Voici d'ailleurs ce qu'a dit M. Gay-Lussac (*Annales de Chimie*, volume LXXVI, page 255): « On ne conçoit pas pourquoi, lorsque le ferment et le » sucre sont intimement mêlés ensemble, ils n'agissent » pas l'un sur l'autre avec plus de rapidité. On serait

» tenté de croire qu'elle est due en partie à un procédé
» galvanique, et qu'elle a quelque analogie avec la pré-
» cipitation mutuelle des métaux. ».

Le beau travail de M. Becquerel vient encore à l'appui de ce que j'avance; car si toute action chimique développe des effets électriques, il doit en être ici de même de celle de l'air. J'ai voulu m'en assurer par une expérience directe : elle ne m'a point réussi; mais je l'attribue à ce que les gaz sont de très-mauvais conducteurs.

Si donc les levures de bière et de raisin n'ont pas besoin du contact de l'air pour transformer le sucre en alcool, c'est qu'elles ont déjà reçu une excitation de ce genre qui s'y continue d'elle-même : qu'on abandonne en effet ces levures hors du contact de l'air, il s'en dégage encore pendant quelque temps de l'acide carbonique; mais aussitôt que ce mouvement cesse, soit parce que l'action chimique est épuisée par la précipitation du ferment, soit parce que l'ébullition a contracté et par conséquent durci la levure, soit enfin par une cause quelconque, la fermentation ne peut plus s'établir, si l'air n'a auparavant déterminé une action spontanée, et par conséquent rétabli le phénomène électrique. J'en dis autant de toutes les matières en putréfaction qui ont déterminé l'alcoolisation lente du sucre.

Cependant le simple contact de l'air n'y suffit pas toujours, et l'action de la pile voltaïque devient alors nécessaire. C'est là ce qui justifie puissamment, ce me semble, mon opinion touchant la nature de la force qui détermine ces phénomènes. J'avais fait une certaine préparation de levure de bière; j'en pris une portion, je

la mêlai au sucre et à l'eau dans les doses prescrites, et je l'exposai simplement aux rayons solaires. Leur effet sur le thermomètre, dans le cours de l'essai, varia de 18 à 35 et même à 40° : cependant, au bout de douze jours, il n'y avait point eu encore de signes de fermentation ; au bout de deux mois, la liqueur était toujours très-sucrée ; il s'y était formé un dépôt, des moisissures, elle avait même contracté de l'aigreur ; mais je n'y remarquai rien d'alcoolique ni d'éthéré. Tandis qu'une autre portion de ce mélange, pris en même quantité, placé dans les mêmes circonstances, après avoir été soumis préalablement pendant quelques heures à l'action d'une pile voltaïque, se comporta tout autrement : il prit graduellement une assez grande activité, et quand, au bout de quinze jours, je l'examinai de plus près, sa fermentation était complète. Tout le sucre avait disparu pour faire place à l'alcool, et son goût était sans aigreur.

On conçoit combien il est nécessaire d'être réservé sur un pareil sujet ; car ne serait-il pas possible, par exemple, que cette albumine, ce gluten, ce fromage, cette urine, etc. ne pussent opérer l'alcoolisation du sucre qu'en donnant naissance, par leur décomposition spontanée, à une matière en qui seule résiderait le pouvoir fermentant ; en sorte que la multiplicité des fermens ne serait qu'une apparence ; tandis que, dans la réalité, le ferment serait une matière unique ? Cette opinion est peu probable, mais encore est-ce à l'analyse à la repousser ou à l'admettre.

Quoi qu'il en soit, j'ai essayé par le sucre presque tous les dépôts formés dans les précédentes fermenta-

tions, et tous ont été trouvés plus propres aux essais de ce genre que les matières dont ils provenaient, notamment ceux d'albumine, d'albumine coagulée et putréfiée, d'albumine coagulée, de gliadine et de zimôme. Ces cinq derniers sont en effet des espèces de levures, non-seulement parce qu'ils agissent sur le sucre avec moins de lenteur que les substances dont ils proviennent, mais aussi parce qu'une température de 18, 17, et quelquefois même de 15°, suffit à leur action. Ces dépôts sont ici nommés dans l'ordre de leur plus grande activité: cependant, de tout ce qu'ici je qualifie de levures, le dépôt engendré par la fermentation dans l'albumine glaireuse est le seul qui par son intensité mérite complètement ce nom. Tous les autres lui sont inférieurs: toutefois, en élevant suffisamment la température, on parvient à leur donner une grande activité.

En résumé, nombre de matières animales transforment le sucre en alcool, et d'autant moins difficilement qu'elles y ont été mieux préparées par une putréfaction convenable. De cette réaction résultent des dépôts qui agissent sur le sucre d'une manière plus marquée : celui obtenu de l'albumine par ce moyen se comporte comme la levure : cependant l'albumine n'agit sur le sucre qu'avec une extrême lenteur : les levures sont donc formées dans l'acte de la fermentation. L'électricité y joue un rôle, elle rétablit l'activité dans une levure qui est devenue inerte ; tout développement d'électricité n'est pas propre à la production de ce phénomène. L'alcool, à mesure qu'il se forme, arrête la fermentation, et si l'ébullition la suspend, elle n'en détruit pas la cause. Enfin, la crême de tartre la mieux purifiée favorise les

fermens paresseux, en rendant l'alcoolisation plus complète et moins lente.

On a donc attribué trop exclusivement aux levures de bière et de tout fruit sucré la propriété de transformer le sucre en alcool, et il faut convenir aujourd'hui que le phénomène de la fermentation embrasse un plus grand nombre de faits qu'on ne l'avait supposé.

---

## NOUVEAUX FAITS *pour éclairer la théorie des cimens calcaires.*

PAR M. VICAT,
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

ON a pris deux espèces de sable, l'un blanc, entièrement quarzeux, l'autre granitique et mêlé de basalte; on les a lavés, mis en digestion dans de l'acide hydrochlorique, puis lavés de nouveau à grande eau, et desséchés ensuite à la température de 100°.

Le 12 juin 1822, on a fabriqué avec ces sables deux espèces de mortier, ainsi qu'il suit : 1°. sable blanc de mine, pesé froid, 896 parties; chaux hydrolithe vive, sortant du four, 300 part.; le tout, gâché à la manière ordinaire dans un vase de verre qui pesait 787 part., a donné, vase compris, 2630 part. : différence pour l'eau introduite, 647 part. Ainsi le poids total du mortier frais, n° 1, était de 1843 part.

2°. Sable granitique mêlé de basalte, pesé froid, 896 part.; chaux vive employée comme ci-dessus, 300 part.

quantité d'eau déterminée par la différence du poids du mortier, vase compris, au poids du vase, 612p·,50; poids du mortier frais, n° 2, 1808p·,50.

Ces deux mortiers, placés dans les circonstances les plus propres à favoriser une réunion chimique entre les principes constituans, avaient, après quinze mois, perdu chacun 27 pour 100 de leur poids. Le 4 février 1824, c'est-à-dire, deux ans après leur fabrication, ils furent l'un et l'autre désagrégés par l'acide hydrochlorique. Le sable du n° 1, mis à nu, lavé, séché, et pesé froid comme ci-devant, a donné 892 part. La perte de $\frac{1}{223}$ ou 44 dix-millièmes ne doit évidemment être attribuée qu'au second lavage. Le sable du n° 2, traité de la même manière, n'a pesé que 883; ce qui donne une perte très-appréciable de $\frac{1}{68}$. On a repris 500 parties du même sable qu'on a remis en digestion dans de l'acide hydrochlorique; et comme il y avait eu production de chaleur pendant l'acte de la désagrégation, on a eu soin d'élever également la température de l'acide dans cette contre-épreuve, et de maintenir son action pendant le même temps. Le sable, lavé ensuite, séché et pesé, a donné un déficit de 7 sur 500 ou $\frac{1}{71}$. Ce résultat, qui diffère peu de $\frac{1}{68}$, ne laisse aucun doute sur la cause de la perte offerte par le sable mélangé; et on doit en conclure que la chaux hydrolithe n'attaque pas plus celui-ci que le sable quarzeux pur. (Il est bon de faire observer que le sable mélangé dont on s'est servi est un sable de rivière à grains durs et palpables.)

La solidification des mortiers à chaux hydrolithes et sables ordinaires n'est donc point, et c'est ainsi que l'entendent MM. John et Berthier, le résultat d'une combi-

naison chimique ; mais, d'un autre côté, il est tout-à-fait impossible de concevoir cette solidification comme provenant d'une adhérence *purement mécanique* entre l'hydrosilicate de chaux et le sable, c'est-à-dire d'un *enchevêtrement d'aspérités* : donc il faut admettre une affinité moléculaire sans combinaison subséquente, et distinguer ainsi deux espèces d'*adhérences*, savoir : *adhérence mécanique*, analogue à celle qui lie le plâtre au bois ou à la pierre ; *adhérence intime*, analogue à celle qui lie la plupart des incrustations aux parois sur lesquelles elles se sont lentement formées. M. Berthier déclarant qu'il n'entend point expliquer la dureté du mortier par l'enchevêtrement des parties, admet nécessairement une cause non mécanique, et nous voilà d'accord sur ce point.

Mais il en est un autre sur lequel nous sommes loin de nous entendre encore : c'est la théorie des mortiers hydrauliques à chaux grasses et pouzzolanes. Ici la liaison particulière que l'on remarque entre l'hydrate de chaux pure et les parcelles dures et absorbantes qui constituent les pouzzolanes, ne saurait résulter du seul fait d'une adhérence quelconque sans combinaison subséquente ; car si l'on n'admet pas de combinaison, il faut bien accorder que la chaux conserve ses propriétés ordinaires, solubilité, causticité, etc., et la conséquence immédiate de cette concession est que, sans exception aucune, tous les bétons à chaux grasses et pouzzolanes quelconques, immergés sous une eau courante, devraient s'y décomposer rapidement : or, c'est ce qui n'a pas lieu.

M. Berthier semble aller au-devant de cette objection, en disant : « on sait que les corps poreux ont la faculté

» d'absorber, de condenser rapidement un grand nombre
» de substances gazeuses ; ne serait-ce pas parce qu'ils
» agissent de cette manière sur l'acide carbonique con-
» tenu dans l'air et dans l'eau qu'ils ont la propriété
» d'accélérer la solidification de certaines matières ? »

Nous empruntons notre réponse à M. John : on trouve, en effet, dans le Mémoire de ce savant chimiste, que l'analyse d'un mortier de traass immergé depuis quatre ans, a donné sur 100 parties, savoir : eau, 24,00 ; grains de quarz, 33,00 ; silice en combinaison, 8,00 ; chaux avec traces d'oxide de fer, 32,75 ; acide carbonique, 2,25.

Cette analyse prouve que dans ce mortier la chaux n'était pas carbonatée, mais bien neutralisée par la silice. Le point important serait de savoir d'où est provenu cette silice. M. John dit que la chaux du mortier analysé a été prise à Trèves. Tout ce que nous savons de la chaux de Trèves, c'est qu'elle est maigre et probablement moyennement hydralithe, puisque partout où les Français en ont fait usage, ils ont jugé qu'il était indispensable d'y ajouter du traass. Mais 8 parties de silice pour moins de 32,75 de chaux (le traass a dû fournir de 3 à 4 pour 100 de chaux) représenteraient près de 25 pour 100 et constitueraient une chaux très-maigre et très-hydralithe ; il y a donc grande probabilité que le traass a fourni une bonne partie de la silice combinée.

Laissant à part toute hypothèse, on n'en établit pas moins, par la discussion précédente, que le traass, substance à particules dures et absorbantes, véritable pouzzolane, en un mot, ne cède point d'acide carbonique à

la chaux avec laquelle on le mêle. On ne contestera pas d'ailleurs qu'uni à la chaux la plus grasse possible (celle des coquilles d'huîtres employée en Hollande), ce même traass ne puisse former un bon mortier hydraulique : donc les conjectures de M. Berthier sur les causes de l'efficacité des pouzzolanes sont infirmées par les faits.

Mais, demande M. Berthier, si la chaux ordinaire a quelqu'action sur la silice des pouzzolanes, comment n'en aurait-elle pas sur les argiles crues, substances qui, en général, se prêtent plus facilement aux combinaisons que les argiles calcinées ? Comment se fait-il que les sables feldspathiques qui proviennent de la désagrégation des granites ne jouent à-peu-près que le rôle du quarz pur ?

Nous sommes en mesure de répondre aujourd'hui qu'il existe des substances non cuites, non poreuses, non absorbantes, composées d'élémens faibles, et qui neutralisent la chaux grasse, et font mortier hydraulique avec elle. Ces substances sont 1°. certains sables feldspathiques ou granites désagrégés sur place ; 2°. la plupart des psammites bruns et tendres de la basse Bretagne.

Ces faits nous étaient inconnus il y a quelques mois ; ils sont constatés aujourd'hui, 1°. par les nombreuses expériences de M. Avril, ingénieur des ponts et chaussées, attaché aux travaux du canal de Nantes à Brest, à Carhain ; 2°. par celles de M. Payen, ingénieur attaché aux travaux du même canal à Josselin. Nous avons vu de nos propres yeux les résultats dont nous parlons ; nous avons répété contradictoirement les expériences à Rennes pendant le mois de décembre dernier, et dans un an les nouveaux

essais seront soumis à un examen authentique. En attendant, nous nous proposons d'adresser à M. Berthier une caisse d'échantillons des diverses substances employées.

---

## Extrait *d'un Mémoire sur la double Réfraction particulière que présente le cristal de roche dans la direction de son axe.*

Par Mr A. Fresnel (1).

Avant d'avoir opéré la bifurcation de la lumière par le moyen de cette double réfraction, M. Fresnel avait prévu et indiqué ses caractères distinctifs à la fin d'une Note sur la double réfraction du verre comprimé, lue à l'Institut le 16 septembre, et publiée dans le Cahier des *Annales de Chimie et de Physique* du mois d'août dernier. L'expérience a confirmé ce qu'il avait annoncé.

---

(1) Les brillantes découvertes de M. Fresnel occuperont une trop grande place dans l'histoire des progrès des sciences au 19me siècle, pour que nous ne regardions pas comme un devoir d'en présenter la série complète aux lecteurs des *Annales*. L'article dont on vient de transcrire le titre a été rédigé par l'auteur lui-même. Nous donnerons, dans un prochain Cahier, les considérations théoriques qui ont conduit M. Fresnel aux lois de la double réfraction dont nous avons déjà eu l'occasion de faire sentir l'importance et la nouveauté.

Avant de décrire ces phénomènes nouveaux, nous allons faire connaître une modification remarquable de la lumière à laquelle ils se rattachent d'une manière intime, et dont M. Fresnel a donné les lois dans un Mémoire présenté à l'Institut vers la fin de 1817. Ce préambule est d'autant plus nécessaire que le Mémoire dont il s'agit n'a point été imprimé, et qu'on n'en a donné l'extrait dans aucun ouvrage périodique.

Si, après avoir polarisé un rayon lumineux, on lui fait éprouver successivement deux réflexions totales dans l'intérieur d'un parallélipipède de verre sous une incidence de 54° environ (1), et suivant un plan incliné de 45° sur le plan primitif de polarisation, il paraît complètement dépolarisé quand on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, c'est-à-dire, qu'il donne toujours deux images d'égale intensité, dans quelque azimut qu'on tourne la section principale du rhomboïde; mais il diffère de la lumière directe, en ce qu'il produit deux images colorées lorsqu'il a traversé une lame mince cristallisée avant son passage dans le rhomboïde, et en ce qu'il reprend tous les caractères de la lumière polarisée quand on lui fait éprouver, dans un second parallélipipède de verre, deux nouvelles réflexions totales pareilles aux premières, quel que soit d'ailleurs l'azimut du nouveau plan de réflexion par rapport au premier : on sait qu'un nombre quelconque

(1) Le parallélipipède de verre doit être taillé de manière que ses faces d'entrée et de sortie se trouvent perpendiculaires au rayon, afin qu'elles n'exercent sur lui aucune action polarisante.

de réflexions totales ne changent en rien les propriétés apparentes de la lumière ordinaire.

Les teintes que la lumière polarisée ainsi modifiée par deux réflexions complètes développe dans les lames minces cristallisées, sont très-différentes de celles que donne la lumière polarisée ordinaire, et répondent sur le cercle chromatique de Newton à des points également distans des deux couleurs complémentaires produites par celle-ci, c'est-à-dire, situés à un quart de circonférence de chacune d'elles. Ce caractère et surtout celui dont nous venons de parler, consistant en ce que la lumière ainsi modifiée recouvre toutes les propriétés de la lumière polarisée après deux nouvelles réflexions totales qui dépolariseraient entièrement celle-ci, démontrent que celle-là peut être considérée comme composée de deux faisceaux polarisés à angle droit et différant dans leur marche d'un quart d'ondulation. A l'aide de cette définition théorique et des règles d'interférence des rayons polarisés, qui avaient servi à trouver les formules générales des phénomènes ordinaires de la coloration des lames minces cristallisées, M. Fresnel est parvenu aussi aisément à calculer les teintes particulières que produit dans les mêmes lames cette nouvelle modification de la lumière, et il a été conduit ainsi à plusieurs théorèmes curieux, dont voici le plus remarquable : Si l'on place une lame mince cristallisée entre deux parallélipipèdes de verre croisés à angle droit, dans chacun desquels la lumière, préalablement polarisée, éprouve deux réflexions totales sous l'incidence de 54° $\frac{1}{2}$, d'abord avant son entrée dans la lame (que nous supposons perpendiculaire aux rayons), et

ensuite après sa sortie, et si de plus la lame est tournée de telle sorte que son axe fasse un angle de 45° avec les deux plans de double réflexion, ce système présentera les propriétés optiques des plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe et des liquides qui colorent la lumière polarisée : quand on fera tourner la section principale du rhomboïde avec lequel on analyse la lumière émergente, les deux images changeront graduellement de couleur, au lieu de n'éprouver que de simples variations dans la vivacité de leurs teintes, comme cela arrive pour le cas ordinaire des lames minces cristallisées ; de plus, la nature de ces couleurs ne dépendra que de l'inclinaison respective du plan primitif de polarisation et de la section principale du rhomboïde, c'est-à-dire, des deux plans extrêmes de polarisation ; ainsi, quand cet angle restera constant, on pourra faire tourner le système de la lame cristallisée et des deux parallélipipèdes autour du faisceau qui le traverse, sans changer la couleur des images (1). C'est cette analogie entre les propriétés optiques de ce petit appareil et celles des plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, qui a fait prévoir à M. Fresnel les caractères particuliers de la double réfraction que le cristal de roche exerce sur les rayons parallèles à l'axe.

(1) L'expérience fait voir que, pour achever de représenter rigoureusement les singuliers phénomènes de coloration des plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, il faudrait que, dans la lame cristallisée dont nous venons de parler, les rayons de diverses couleurs éprouvassent des doubles réfractions très-différentes et qui fussent en raison inverse de leurs longueurs d'ondulation.

Pour mettre cette double réfraction en évidence, M. Fresnel a taillé, dans une aiguille de cristal de roche, un prisme très-obtus, dont l'angle réfringent était de 152°, et avait ses deux côtés également inclinés sur l'axe de l'aiguille. Il l'a d'abord achromatisé le mieux possible avec deux demi-prismes de verre collés sur les faces d'entrée et de sortie, et il s'est assuré que les deux faisceaux distincts qu'il obtenait ainsi possédaient en effet les propriétés qu'il avait prévues. Mais comme l'achromatisme donné par ce procédé est toujours très-imparfait, M. Fresnel a substitué aux demi-prismes de verre deux demi-prismes de cristal de roche pris dans une autre aiguille, dont les propriétés optiques étaient inverses de celles de la première : or, il résulte des formules par lesquelles M. Fresnel avait représenté les phénomènes de coloration de l'essence de térébenthine et des plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, que l'opposition dont il s'agit tient à ce que celui des deux faisceaux lumineux qui traverse le plus vite certaines plaques, est, au contraire, celui qui marche le plus lentement dans les autres ; ainsi, puisque le faisceau lumineux le moins réfracté dans le prisme du milieu est le plus réfracté dans les deux demi-prismes extrêmes, et que d'ailleurs les angles réfringens de ceux-ci sont tournés en sens contraire, on conçoit que les petites divergences qu'ils produisent s'ajouteront à celle qui résulte du prisme intermédiaire, au lieu de s'en retrancher, comme cela aurait lieu si les trois prismes étaient pris dans la même aiguille ou des aiguilles de même espèce. Cet appareil a le grand avantage d'être susceptible d'un achromatisme parfait, ou,

plus exactement, d'empêcher toute dispersion des rayons colorés étrangère à la double réfraction, et permet de vérifier directement ce que M. Fresnel avait annoncé dans un Mémoire présenté à l'Institut au commencement de 1818, savoir, que cette double réfraction s'exerce avec une énergie bien différente sur les rayons de diverses couleurs, et qu'elle est beaucoup plus forte pour les rayons violets que pour les rayons rouges. Il est presque inutile d'observer qu'il faut avoir soin que les deux demi-prismes aient leurs axes de cristallisation sur le prolongement de celui du prisme intermédiaire, et que les rayons lumineux traversent l'appareil suivant la direction commune des axes, ou du moins ne fassent avec elle que de fort petits angles; car, dès qu'ils s'en écartent un peu trop, ils éprouvent la double réfraction ordinaire et beaucoup plus énergique que le cristal exerce perpendiculairement à son axe, en passant graduellement de l'une à l'autre. On rendrait l'écartement des deux images plus sensible en augmentant le nombre des prismes.

Les deux faisceaux divergens qu'on obtient ainsi, soit qu'on emploie de la lumière polarisée ou de la lumière directe, présentent exactement les mêmes caractères que la lumière polarisée modifiée par deux réflexions complètes, comme M. Fresnel l'avait annoncé. Quand on les analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, ils donnent constamment chacun deux images d'égale intensité; et quand on leur fait éprouver deux réflexions totales dans un parallélipipède de verre, sous l'incidence intérieure de 54°, ils se trouvent complètement polarisés suivant des plans inclinés de 45° sur le plan de

réflexion ; le plan de polarisation de l'un est à droite du plan de réflexion, et celui de l'autre à gauche ; en sorte que le premier est absolument semblable à la lumière polarisée modifiée par deux réflexions totales, lorsque le plan de réflexion est à gauche du plan de la polarisation primitive, et les propriétés du second sont celles que la lumière polarisée aurait présentées après les mêmes réflexions si le plan d'incidence avait été à droite du plan de polarisation ; ou, en d'autres termes, chacun des deux faisceaux sortans peut être considéré comme composé de deux systèmes d'ondes polarisés à angle droit et différant dans leur marche d'un quart d'ondulation ; pour le premier faisceau, le système d'ondes en avant d'un quart d'ondulation a son plan de polarisation à gauche de celui du système d'ondes en arrière, et pour l'autre faisceau le premier plan de polarisation est à droite du second. En un mot, les propriétés optiques des deux faisceaux sont pareilles, mais en sens inverses, ce qui fait que l'un se comporte de droite à gauche, comme l'autre de gauche à droite. Si l'on remarque, en outre, qu'un rayon ainsi modifié ne présente aucune différence dans ses réflexions ou ses réfractions, de quelque côté qu'on le prenne, tandis que le rayon qui a reçu la polarisation ordinaire offre, perpendiculairement à son plan de polarisation, des caractères très-différens de ceux qu'il présente dans la direction de ce plan, on est naturellement conduit à donner le nom de *polarisation circulaire* à cette nouvelle modification de la lumière, en la subdivisant en polarisation circulaire de gauche à droite, et polarisation circulaire de droite à gauche, et à désigner par le

nom de *polarisation rectiligne* celle qu'Huygens a remarquée pour la première fois dans la double réfraction du spath d'Islande, et que Malus a reproduite par la simple réflexion sur la surface des corps transparens.

Ces dénominations découlent plus naturellement encore de l'hypothèse que M. Fresnel a adoptée sur la nature des vibrations lumineuses, et qu'il a exposée dans le tome XVII des *Annales de Chimie et de Physique*, pag. 179 et suiv. Il suppose que les vibrations lumineuses s'exécutent dans le sens même de la surface des ondes, perpendiculairement à la direction des rayons, et qu'un faisceau polarisé est celui pour lequel ces vibrations ont toujours la même direction, son plan de polarisation étant le plan auquel ces petits mouvemens oscillatoires des molécules éthérées restent constamment perpendiculaires : or, il suit de là que si deux systèmes d'ondes d'égale intensité et polarisés rectangulairement, c'est-à-dire, dont les mouvemens oscillatoires sont perpendiculaires entre eux, diffèrent dans leur marche d'un quart d'ondulation, le mouvement composé qu'ils imprimeront à chaque molécule, au lieu d'être rectiligne, comme dans les deux faisceaux considérés séparément, sera circulaire et s'exécutera avec une vitesse uniforme : les molécules tourneront de droite à gauche, lorsque le système d'ondes en avant aura son plan de polarisation à droite de celui du système d'ondes en arrière d'un quart d'ondulation, et elles tourneront de gauche à droite lorsque le premier plan sera à gauche du second, ou lorsque les deux plans de polarisation restant disposés comme dans le premier cas, la différence de marche sera égale à trois quarts d'ondu-

lation (1). On conçoit que, dans cette rotation générale des molécules autour de leurs positions d'équilibre, elles n'occupent pas au même instant les mêmes points des circonférences qu'elles décrivent, vu le mouvement progressif des ondes. Pour se représenter leurs positions relatives, il faut concevoir que celles qui étaient sur une même droite parallèle au rayon, dans l'état d'équilibre, se trouvent maintenant placées sur une hélice très-étroite, décrite autour de cette ligne droite comme axe, et dont le pas est égal à la longueur d'une ondulation. Si l'on fait tourner maintenant cette hélice autour de son axe d'un mouvement uniforme, de manière qu'elle décrive une circonférence dans l'intervalle de temps pendant lequel s'accomplit une ondulation lumineuse, et que l'on conçoive d'ailleurs que, dans chaque tranche infiniment mince perpendiculaire au rayon, toutes les molécules exécutent les mêmes mouvemens et conservent les mêmes situations respectives, on aura une idée exacte du genre de vibration qui constitue la polarisa-

---

(1) Si la différence de marche, au lieu d'être un nombre pair ou impair de quarts d'ondulation, était un nombre fractionnaire, les mouvemens vibratoires ne seraient ni rectilignes ni circulaires, mais elliptiques. On produit ce genre de vibration en changeant le nombre ou l'incidence des réflexions totales que subit le rayon polarisé. On peut aussi obtenir cette modification intermédiaire avec deux réflexions totales sous l'incidence intérieure de 54° $\frac{1}{2}$, en changeant l'azimut du plan de réflexion, que nous avons supposé à 45° du plan de la polarisation primitive : le calcul démontre que, dans ce cas, les courbes décrites sont encore des ellipses.

tion circulaire, d'après l'hypothèse que nous venons de rappeler.

Mais, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des vibrations lumineuses, il résulte des faits et des lois générales de l'interférence des rayons polarisés, 1°. que les deux faisceaux séparés par la double réfraction qui s'exerce le long de l'axe du cristal de roche, peuvent être considérés chacun comme composés de deux systèmes d'ondes polarisés à angle droit et distans d'un quart d'ondulation, le plan de polarisation du système d'ondes en avant étant pour un des faisceaux à droite, et pour l'autre à gauche du plan de polarisation du système d'ondes en arrière; 2°. que ces deux faisceaux ne traversent pas le cristal de roche avec la même vitesse dans le sens de son axe, et que, selon la nature des aiguilles, elles sont parcourues un peu plus vite, tantôt par le faisceau polarisé circulairement de droite à gauche, et tantôt par celui qui l'est de gauche à droite, la différence de vitesse étant d'ailleurs la même dans les deux cas. On conçoit que pour qu'une pareille différence de marche puisse avoir lieu entre ces deux faisceaux, il faut que, tout étant d'ailleurs semblable autour de l'axe de l'aiguille, le cristal ne soit pas constitué de droite à gauche comme il l'est de gauche à droite, en vertu de l'arrangement de ses particules ou de leur constitution individuelle.

Cela posé, considérons ce qui a lieu quand on introduit parallèlement à l'axe un rayon polarisé. Il résulte des mêmes lois d'interférence (ou du principe général de la composition des petits mouvemens, si l'on adopte l'hypothèse dont nous venons de parler) qu'un système

d'ondes polarisé rectilignement peut être remplacé par deux autres polarisés à angle droit, qui coïncideraient d'ailleurs dans leur marche, et qu'à chacun de ceux-ci on peut substituer deux autres systèmes d'ondes ayant le même plan de polarisation, mais situés, l'un en avant, l'autre en arrière d'un huitième d'ondulation, et séparés ainsi par un qnart d'ondulation ; ce qui donne quatre systèmes d'ondes d'égale intensité, dont deux polarisés à angle droit sont en arrière d'un quart d'ondulation des deux autres polarisés suivant les mêmes plans. Si maintenant l'on combine par la pensée chacun des deux systèmes d'ondes en arrière avec celui des deux systèmes d'ondes en avant qui est polarisé suivant une direction perpendiculaire, on voit qu'on aura précisément deux faisceaux égaux polarisés circulairement, l'un de droite à gauche et l'autre de gauche à droite, qui ne différeront point encore dans leur marche. Mais, comme deux faisceaux de cette espèce parcourent le cristal de roche parallèlement à son axe avec des vitesses différentes; s'il est taillé en prisme et qu'ils rencontrent ainsi les faces d'entrée et de sortie sous des incidences obliques, ils se réfracteront suivant des directions différentes, parce qu'une différence de vitesse entraîne nécessairement une différence de réfraction; et ils donneront, en conséquence, deux images distinctes d'égale intensité. Si c'est une plaque perpendiculaire à l'axe qu'on fait traverser au rayon polarisé, les deux faisceaux ne seront pas séparés quant à leurs directions; seulement l'un sera devancé par l'autre d'une petite quantité, qui croîtra proportionnellement à la longueur du trajet: or, il est aisé de voir, d'après les mêmes règles d'interfé-

rences, que l'ensemble de ces deux faisceaux polarisés circulairement, l'un de droite à gauche et l'autre de gauche à droite, reproduit toujours un système d'ondes polarisé rectilignement suivant une direction unique, quelle que soit leur différence de marche, et que cette différence de marche occasione seulement, dans le plan de polarisation de la lumière complexe sortant de la plaque, une déviation angulaire qui lui est proportionnelle; déviation qui s'opère de droite à gauche ou de gauche à droite, selon que c'est le faisceau polarisé circulairement de gauche à droite ou de droite à gauche qui a devancé l'autre.

Si tous les rayons colorés qui composent la lumière blanche éprouvaient cette double réfraction au même degré, c'est-à-dire, qu'en traversant la même épaisseur de cristal, la différence de marche entre les deux faisceaux fût égale pour ces diverses espèces de rayons, la déviation du plan de polarisation serait en raison inverse de la longueur d'ondulation, ainsi qu'on le trouve par les formules d'interférence. Mais cette double réfraction est, au contraire, très-différente pour les rayons de différente espèce, comme on peut l'observer directement; et il paraît qu'elle est en raison inverse de la longueur d'ondulation, ou, en d'autres termes, que la petite différence de marche entre les deux faisceaux polarisés circulairement en sens contraires, est la même pour un même nombre d'ondes, quelle que soit la longueur d'ondulation; car il résulte de cette supposition que la déviation du plan de polarisation de la lumière émergente doit être en raison inverse du carré de la longueur d'ondulation de chaque espèce de rayons, conformément aux

observations de M. Biot. C'est la différence de déviation, dans les plans de polarisation des rayons de diverses couleurs, qui occasione les phénomènes de coloration qu'on observe quand on analyse, avec un rhomboïde de spath d'Islande, un faisceau de lumière blanche préalablement polarisée, à laquelle on a fait traverser une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe : il est clair que les rayons de diverses couleurs qui composent la lumière émergente, se trouvant polarisés dans des azimuts différens, ne peuvent plus se partager suivant la même proportion entre les images ordinaire et extraordinaire, qui doivent, en conséquence, être colorées de teintes complémentaires. La lumière directe étant l'assemblage et la succession rapide d'une infinité de sytèmes d'ondes polarisés rectilignement dans toutes les directions, on peut dire de chacun de ces systèmes d'ondes ce que nous avons dit d'un seul faisceau polarisé, et ils doivent se comporter de la même manière : si les deux images ne sont pas alors colorées, cela tient uniquement à ce que les effets contraires produits par les rayons polarisés dans des directions rectangulaires se compensent et se masquent mutuellement.

L'explication que nous venons de donner des propriétés optiques des plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, qui peut être également appliquée aux liquides dans lesquels la polarisation développe des couleurs, ne diffère, comme on voit, de celle de M. Biot, qu'en ce qu'au lieu de nous arrêter à la simple observation du plan de polarisation de la lumière complexe qui sort de la plaque cristallisée, nous sommes remontés aux deux systèmes d'ondes polarisés circulairement en sens contraires

dont cette lumière totale est composée. L'explication de M. Fresnel a l'avantage de ramener ces phénomènes, comme la coloration des lames minces cristallisées parallèles à l'axe, à de simples différences de marche entre deux faisceaux lumineux qui suivent la même direction: elle fait voir immédiatement pourquoi un faisceau de lumière auquel on a imprimé la polarisation circulaire, par l'un quelconque des procédés indiqués précédemment, ne doit plus développer de couleurs dans les plaques de cristal de roche qu'il traverse parallèlement à l'axe, ou dans l'essence de térébenthine; c'est qu'il ne peut y affecter qu'une seule vitesse; par la même raison, il ne produira qu'une seule image en traversant le prisme achromatisé que nous avons décrit plus haut, tandis qu'il en donne toujours deux d'égale intensité avec un rhomboïde de spath calcaire. Il résulte du même principe, qu'en faisant passer un faisceau de lumière directe ou polarisée rectilignement au travers d'un nombre quelconque de prismes semblables, on n'obtiendra jamais que deux images d'égale intensité, quels que soient les azimuts dans lesquels on tourne ces prismes: à l'aide de la double réfraction ordinaire, au contraire, chaque prisme peut doubler le nombre des images produites par les prismes précédens. Les deux faisceaux résultant de cette double réfraction particulière, qui ne peuvent plus développer de couleurs dans les plaques de cristal de roche perpendiculaires à l'axe ou dans l'essence de térébenthine, en produisent de très-vives dans les lames minces parallèles à l'axe, et ce sont précisément les mêmes teintes que celles qu'on obtient avec la lumière polarisée modifiée par deux réflexions totales,

comme on devait s'y attendre, d'après les preuves expérimentales que nous avons déjà citées de l'identité des propriétés que la lumière acquiert dans ces deux cas. Ainsi, l'on produit la polarisation circulaire par deux procédés analogues à ceux qu'on emploie pour obtenir la polarisation rectiligne; le premier consiste dans une combinaison de réflexions, et le second dans la division de la lumière directe en deux faisceaux distincts, par une double réfraction particulière.

---

## Observations *sur les Minéraux pyro-électriques.*

Par le Dr David Brewster.

( Extrait. )

Tout le monde connaît les curieux phénomènes électriques que présentent les tourmalines quand on les chauffe : c'est Lemery (*Acad. des Sciences*, 1719) qui le premier a fait mention du fait principal. D'autres minéraux jouissent de propriétés analogues.

Canton les a aperçues dans la topaze;
Brard dans............. l'axinite;
Haüy dans.............. la boracite; le mesotype; l'oxide de zinc; le sphène.

M. Brewster vient de les reconnaître dans tous les minéraux naturels dont les noms suivent :

| | |
|---|---|
| Scolezite ; | Diamant ; |
| Mesolite ; | Orpiment jaune ; |
| Mesotype du Groënland ; | Analcime ; |
| Spath calcaire ; | Améthyste ; |
| Beryl jaune ; | Quarz du Dauphiné ; |
| Sulfate de baryte ; | Idocrase ; |
| Sulfate de strontiane ; | Mellite ? |
| Carbonate de plomb ; | Soufre natif ; |
| Diopside ; | Grenat ; |
| Spath fluor, rouge et bleu ; | Dichroïde. |

Voici, de plus, une liste de cristaux artificiels qui sont aussi pyro-électriques :

| | |
|---|---|
| Tartrate de potasse et de soude ; | Sulfate de magnésie ; |
| Acide tartrique ; | Prussiate de potasse ; |
| Oxalate d'ammoniaque ; | Sucre ; |
| Oxymuriate de potasse ; | Acétate de plomb ; |
| Sulfate de magnésie et de soude ; | Carbonate de potasse ; |
| Sulfate d'ammoniaque ; | Acide citrique ; |
| Sulfate de fer ; | Oxymuriate de mercure. |

Le tartrate de potasse et de soude et l'acide tartrique sont pyro-électriques à un très-haut degré. Dans les autres sels, cette propriété est, comparativement, beaucoup plus faible.

Pour découvrir l'existence de la pyro-électricité dans les minéraux qui n'en jouissent qu'à un faible degré, l'auteur employait la membrane interne et excessivement mince de l'*arundo phragmites*. Il coupait cette membrane avec un instrument tranchant, en très-petits fragmens, qui, après avoir été bien séchés, s'attachaient au nombre d'un, de deux, de trois, etc. au cristal échauffé.

Si l'on partage une tourmaline en deux parties, dans le moment où la chaleur l'a rendue électrique, chaque fragment, comme Canton l'a découvert, a deux poles opposés : cette même propriété existe, comme on sait, dans les aimans artificiels.

« Si nous essayons cependant, dit M. Brewster, de » réduire l'aimant en parcelles par une opération méca- » nique, à l'aide de la lime, par exemple, ou de la tritura- » tion, on trouve que ces petites parties d'acier sont privées » de leurs qualités magnétiques, leur pouvoir coercitif » s'étant détruit pendant les vibrations inséparables des » opérations en question. L'analogie nous aurait con- » duit à supposer que le même effet se présenterait en » opérant sur les tourmalines; la plupart des physi- » ciens, je n'en doute point, se fondant sur la force de » cette analogie reconnue, se seraient persuadés que la » poussière de tourmaline n'offrirait aucun phénomène » pyro-électrique. »

Quand on jette cependant, sur une lame de verre, la poussière obtenue en broyant une tourmaline opaque dans un mortier d'acier, on reconnaît qu'elle n'y adhère pas, si la lame est à la température ordinaire; mais aussitôt que la chaleur est suffisante, l'adhérence devient manifeste; et si l'on agite la poudre avec un corps sec, elle s'y attache aussi et a une tendance évidente à se réunir par pelotons. Une diminution graduelle de température affaiblit graduellement cette propriété, et à la longue elle se perd tout-à-fait.

M. Brewster pense que « cette expérience fait une » brèche singulière à l'analogie établie entre la distri-

» bution des forces pyro-électriques et magnétiques (1). »
Il signale plus loin des phénomènes analogues dans la distribution des forces de double réfraction : Si un cristal de spath calcaire est brisé, dit-il, en mille parties, les plus petits fragmens possèdent en miniature les mêmes propriétés que le cristal entier ; tandis qu'une lame de verre à laquelle on aurait communiqué la structure doublement réfringente par un refroidissement prompt, se comporterait comme un barreau aimanté : un *grand* fragment de la lame, quoique détaché de sa partie à structure positive, aurait les deux structures à la fois ; mais si on réduisait les fragmens à de très-petites dimensions, toutes les traces de cette structure disparaîtraient entièrement.

M. Brewster ayant soumis à une intense chaleur des cristaux de scolezite et de mesolite, leur enleva l'eau de cristallisation : la poudre blanche qui en résulta, placée sur une lame de verre échauffée, y adhéra comme l'eût fait de la poudre de tourmaline.

---

(1) Pour que la brèche fût aussi singulière que l'auteur le dit, il aurait fallu, à ce qu'il me paraît, ou que les parcelles de l'aimant enlevées par la lime eussent entièrement perdu la propriété de devenir magnétiques, ou qu'on eût prouvé qu'en divisant un aimant au-delà d'un certain degré de ténuité, les parties ne sont plus aimantées, *quel que soit le moyen mécanique* de division qu'on ait employé.

# OBSERVATIONS *sur la Végétation de la pomme de terre, considérée dans ses rapports de production de potasse et de tubercules.*

PAR Mr J.-B MOLLERAT.

QUELQUES observateurs avaient écrit que le fanage de la pomme de terre contenait une quantité considérable de potasse; d'autres avaient certifié que, d'après leur examen, il était évident qu'on avait exagéré ses produits. Tous avaient dit ce qu'ils avaient vu; mais ils avaient opéré sur le fanage à différentes époques de la végétation de la plante, et ces différences font toutes celles de la production de la potasse.

En 1818, j'ai reconnu que le fanage donnait son *maximum* en potasse immédiatement avant la floraison de la plante, et son *minimum* à sa maturité: dès-lors je me suis promis de faire des expériences pour connaître l'influence du fanage sur la production des tubercules, afin de juger s'il pourrait y avoir de l'avantage à récolter la potasse. Ce n'est qu'en 1824 que j'ai pu faire les expériences que je m'étais proposées.

J'ai fait planter dans un sol argilo-siliceux, riche d'alluvion et d'engrais, la pomme de terre dite *patraque jaune*, une des espèces les plus productives, et je l'ai fait cultiver avec soin.

Voici le tableau des produits de fanage, de salin, de sous-carbonate de potasse, à l'époque de chaque coupe, et enfin de tubercules, recueillis à la maturité de la plante, le tout calculé sur l'examen réel de trente cen-

tiares de terre, et multiplié pour représenter le produit d'un hectare.

*Tableau des expériences.*

| | FANAGE vert. | SALIN. | S.-CARBON. de potasse. | TUBERCULES. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1re COUPE: Immédiatement avant la floraison. | kilog. 33333 | kilog. 384 | kilog. 212 | kilog. 4300 | Fanage sec 0,125 du vert. |
| 2e COUPE. Immédiatement après la floraison. | 33333 | 311 | 196 | 16330 | Comme pour la première coupe. |
| 3e COUPE. Un mois plus tard. | 35700 | 230 | 72 | 30700 | Plus de poids comparativement au fanage vert. |
| 4e COUPE. Un mois plus tard. | 22300 | 205 | 60 | 41700 | Le fanage desséché sur pied donne encore plus que le précédent, comparé au fanage vert. |

Les produits d'une cinquième coupe n'ont pas différé de ceux de la quatrième.

Je n'ai point examiné les sels qui accompagnent la potasse.

La plante, privée de fanage par la première et la deuxième coupe, a eu le temps de s'en couvrir un peu avant la maturité des tubercules.

D'après les expériences ci-dessus, il est évident qu'il

n'y aurait pas avantage, comme revenu, à recueillir la potasse d'un champ de pommes de terre dans une simple récolte. Mais il serait possible d'y en trouver en faisant deux récoltes de potasse dans une année sur le même sol. Pour cela, il faudrait planter la pomme de terre de bonne heure, puis après la première coupe qui doit précéder la floraison, il faudrait retourner la terre et faire une seconde plantation, qui aurait le temps de donner son fanage à l'état convenable avant la fin de la saison; d'ailleurs, il serait inutile, comme je l'ai déjà dit, de tenter d'obtenir une récolte de fanage abondante sur une tige qui aurait déjà été coupée.

Je termine cette note sur la production de la pomme de terre, en disant que j'ai observé que les engrais animaux poussent la végétation de la plante davantage vers le fanage, et que le plâtre mêlé dans le sol fait produire plus de tubercules.

---

## Sur *une Espèce particulière de combinaisons.*

Par Mr F. Wöhler.

Si l'on mêle deux dissolutions saturées de nitrate d'argent et de cyanure de mercure, on obtiendra, au bout de quelques minutes, une grande quantité de petits cristaux blancs, très-peu solubles dans l'eau froide, mais beaucoup plus dans l'eau bouillante, de laquelle ils se séparent, par le refroidissement, en cristaux transparens, assez gros, et semblables à ceux du salpêtre. Si l'on employait des dissolutions faites à chaud de nitrate

d'argent et de cyanure de mercure, les cristaux seraient très-volumineux. L'alcool paraît les dissoudre dans le même rapport que l'eau. Ces cristaux sont composés de nitrate d'argent, de cyanure de mercure et d'eau.

Exposés à une température qui ne doit pas dépasser 100°, ils deviennent blancs et opaques et perdent 7,6 d'eau pour cent. A une température plus élevée, ils se fondent en un liquide transparent, commencent à bouillonner, se décomposent en pétillant, et brûlent presque avec la même flamme purpurine que le cyanogène. Le résidu est du cyanure d'argent. Si l'expérience est faite dans un tube de verre, on obtient un sublimé de mercure. Les cristaux, traités par l'acide hydro-chlorique, donnent aussitôt de l'acide hydro-cyanique; et lorsqu'on fait chauffer et que ce dernier est entièrement dégagé, il se manifeste une forte odeur de chlore. La masse desséchée est formée de chlorure d'argent et de chlorure de mercure. Enfin la dissolution des cristaux, précipitée par le chlorure de barium et évaporée, donne des octaèdres de nitrate de baryte.

L'acide nitrique bouillant dissout les cristaux sans les décomposer. Les alcalis précipitent de leur dissolution du cyanure d'argent, qui paraît mêlé avec du sous-nitrate de mercure. Chaque fois qu'on les dissout dans l'eau, ils éprouvent une décomposition semblable, mais en très-faible proportion.

100 parties de ces cristaux, traitées par l'acide hydro-chlorique, en ont donné 32 de chlorure d'argent, représentant 37,96 de nitrate d'argent.

En mêlant de l'acide hydro-cyanique en excès avec une dissolution chaude du nouveau composé, tout l'argent

a été précipité à l'état de cyanure, et le liquide contenait du cyanure de mercure, qui a été séparé par l'évaporation de l'acide nitrique devenu libre. 100 parties ont produit 53,74 de cyanure. Le nouveau composé est donc formé de,

| | D'après l'expérience. | Atome. | D'après le calcul. |
|---|---|---|---|
| Nitrate d'argent.... | 37,96 | 1 | 38,65 |
| Cyanure de mercure. | 53,74 | 2 | 53,56 |
| Eau............... | 7,60 | 8 | 7,79 |
| | 99,30 | | 100,00. |

Le nitrate d'argent paraît jouer à l'égard du cyanure de mercure le rôle d'acide.

Si l'on fait bouillir du cyanure d'argent récemment précipité avec du nitrate d'argent, il se dissout peu à peu entièrement; le liquide, pendant son refroidissement, laisse déposer de longues aiguilles blanches éclatantes, et lorsqu'il est entièrement refroidi, il se trouve pris en magma. On ne doit point laver la masse saline, car la combinaison est si faible que l'eau la décompose. C'est pour cela que, pour la préparer, il faut employer une dissolution concentrée de nitrate d'argent. Elle ne contient point d'eau. En lui appliquant la formule du sel mercuriel, elle serait formée de 1 atome de nitrate d'argent et de 2 de cyanure d'argent. C'est, en effet, ce que confirme l'expérience.

Le cyanure de nickel et celui de zinc produisent instantanément, avec le nitrate d'argent, du cyanure d'argent.

Le bleu de Prusse, arrosé avec la dissolution d'argent, devient aussitôt blanc, et le liquide surnageant, jaune.

En chauffant, la dissolution est complète; il se dégage du gaz nitreux, la dissolution contient du nitrate de fer, et il reste un mélange de cyanure d'argent et d'oxide de fer.

Le cyanure de plomb est de même changé en cyanure d'argent par la dissolution d'argent. En chauffant le liquide, le sédiment blanc devient aussitôt noir, et présente manifestement des paillettes métalliques.

Le cyanure jaune de cuivre que l'on obtient en précipitant par un acide le cyanure de cuivre et de potassium, étant arrosé avec le nitrate d'argent, donne à l'instant de l'argent métallique en paillettes brillantes, tandis que le fluide surnageant devient vert. En chauffant, la décomposition est si complète, que le précipité n'est que de l'argent à l'état métallique. Le liquide, mêlé avec de l'eau, laisse déposer du cyanure d'argent; preuve que la combinaison déjà décrite de nitrate et de cyanure d'argent s'était ici formée.

Le cyanure de palladium n'éprouve aucun changement de la part du nitrate d'argent. Ceux d'or et de platine n'ont pas été essayés. (*Annalen der Physik*, *etc.*)

---

## Fabrication *des Produits ammoniacaux*.

On prépare depuis long-temps toutes les combinaisons de l'ammoniaque en décomposant le sel ammoniac par différentes substances : c'est ainsi que, pour obtenir l'alcali volatil, on traite ce sel par l'hydrate de chaux; puis, à l'aide d'une température peu élevée, on fait dégager toute l'ammoniaque; l'acide hydrochlorique qui

était combiné avec elle s'unit à la chaux, et laisse dans le résidu desséché du chlorure de calcium. Le sous-carbonate d'ammoniaque est obtenu en décomposant l'hydrochlorate d'ammoniaque par la craie sèche (sous-carbonate de chaux) à une température plus élevée. Enfin, en saturant le sous-carbonate d'ammoniaque ou l'ammoniaque pure par divers acides, on obtient les différens sels ammoniacaux connus. Ces procédés sont publiés depuis long-temps, et on les retrouve encore aujourd'hui dans les éditions les plus récentes des ouvrages de chimie appliquée aux arts.

On peut fabriquer les produits ammoniacaux d'une manière plus économique, et voici comment : on prend du sulfate d'ammoniaque brut, on le fait dessécher fortement afin de faire volatiliser une partie de l'huile empyreumatique, et de rendre l'autre insoluble en la carbonisant.

Si la chaleur a été convenablement ménagée et répartie le plus également possible dans toute la masse, on n'aura pas sensiblement altéré le sulfate, et il ne restera plus la moindre quantité de matière huileuse soluble; en sorte que la solution filtrée de ce sulfate torréfié sera incolore. On sait que si l'on chauffait trop fortement le sulfate d'ammoniaque, ce sel serait décomposé : on n'obtiendrait qu'un résidu charbonneux ou même seulement de la cendre.

Dans la crainte de dépasser le degré de température convenable, on l'atteint quelquefois à peine : alors il faut purifier le sulfate en le faisant dissoudre à chaud, filtrant la solution et la laissant cristalliser par le refroidissement. Les cristaux obtenus, égouttés, lavés et

desséchés, peuvent être employés de la même manière que l'hydrochlorate d'ammoniaque pour fabriquer l'alcali volatil et le sous-carbonate d'ammoniaque.

Il est important, pour que ces opérations réussissent, de réduire le sulfate d'ammoniaque, la craie ou la chaux à l'état de la plus grande division possible et de faire les mélanges très-exactement; ce qui facilite la réaction. On ajoute un peu d'eau ou d'ammoniaque faible dans le mélange de chaux et de sulfate au moment de le distiller : pour le sous-carbonate, l'on emploie la craie sèche et tamisée.

On appréciera facilement l'économie de ce mode de préparation si l'on compare entre eux le sulfate et l'hydrochlorate d'ammoniaque sous les rapports de leur valeur vénale et des proportions d'ammoniaque qu'ils contiennent.

Le sel ammoniac blanc, sublimé, vaut 4 fr. 70 c. le kilogramme dans le commerce. Il contient 0,31 d'ammoniaque et 0,69 d'acide. Le sel ammoniac gris se vend 4 fr. 50 c. le kilogramme.

Le sulfate d'ammoniaque brut cristallisé se vend 80 cent. le kilogramme; torréfié, 1 fr.; blanc et desséché, 1 fr. 20 cent. : en cet état il contient 0,29 d'ammoniaque et 0,71 d'acide.

M. Payen, qui nous a communiqué cette Note, prépare depuis plusieurs années du sulfate d'ammoniaque torréfié avec lequel on fabrique les divers produits ammoniacaux du commerce.

# Recherches *sur un nouvel Acide universellement répandu dans tous les végétaux.*

Par M. Henri Braconnot, Correspondant de l'Institut.

(Lues à la Société royale académique de Nancy le 1er juillet 1824.)

J'ai obtenu d'abord cet acide des tubercules de dahlia et de topinambour, en faisant l'analyse de ces derniers; mais, ignorant la plupart de ses propriétés, j'ai négligé de l'inscrire comme un de leurs principes constituans. Quelque temps après, en examinant les racines du céleri cultivé, j'y retrouvai le même principe et reconnus ses propriétés acides. Depuis il s'est présenté si fréquemment à mes recherches, que je n'ai pu encore rencontrer un seul végétal, une seule racine charnue sans y constater sa présence.

Je l'ai retrouvé dans les racines de navet, de carotte, de phytolacca, de scorzonère, de pivoine, de phlomide tubéreuse; dans les racines de patience et de filipendule, où il est uni à un principe colorant; dans les bulbes, l'ognon; dans les tiges et les feuilles des plantes herbacées; dans les couches corticales de tous les arbres préalablement dépouillés de l'écorce colorée extérieure, d'où on l'on obtient en grande abondance, tantôt uni à un principe colorant rouge, comme dans le cerisier, l'érable, le coudrier; d'autres fois presque incolore, comme dans le sureau; dans la sciure de bois, l'érable; dans les pommes, les poires, les prunes, les fruits des cucurbitacées, et sans doute dans tous les autres fruits; dans les graines. Avant d'exposer les propriétés

de cet acide, je dois dire qu'il me paraît fort analogue, s'il n'est pas tout-à-fait identique, avec le principe peu connu sous le nom vague de *gelée*. Quoi qu'il en soit, il est très-facile de l'obtenir des diverses parties des végétaux. Si on opère sur des racines qui contiennent de l'amidon, comme celles du céleri ou de la carotte, on les réduit en pulpe à l'aide d'une râpe pour en exprimer le suc; on épuise le marc par l'ébullition dans l'eau aiguisée d'acide muriatique, puis on le lave et on le fait chauffer avec une dissolution de potasse ou de soude extrêmement étendue : il en résulte une liqueur épaisse, mucilagineuse, peu alcaline, de laquelle l'acide muriatique sépare le nouvel acide sous la forme d'une gelée abondante, qui ne demande plus qu'à être bien lavée : dans cet état, il est à peine coloré, surtout lorsqu'il provient des parties des végétaux qui ne le sont pas. Cette gelée a une saveur sensiblement acide. Appliquée sur un papier teint en bleu par le tournesol, elle le rougit très-distinctement, quoiqu'elle ne retienne pas d'acide étranger.

Elle est à peine soluble dans l'eau froide : cependant ce liquide s'en charge d'une petite quantité sensible par les réactifs. L'eau bouillie sur cette gelée acide a une action dissolvante plus marquée; la liqueur filtrée est incolore comme de l'eau, ne laisse rien déposer par le refroidissement et rougit à peine le tournesol. Elle est coagulée en une gelée transparente et incolore comme de la glace, par l'alcool, par toutes les dissolutions métalliques sans exception, par l'eau de chaux, l'eau de baryte, les acides, le muriate et le sulfate de soude, le nitrate de potasse, etc. Cet acide paraît si faiblement

retenu dans sa dissolution aqueuse, qu'il suffit d'y faire fondre du sucre pour que la plus grande partie de la liqueur se coagule en gelée.

Desséché sur une capsule, il se présente sous la forme de feuillets transparens qui ne contractent presqu'aucune adhérence avec le vase : dans cet état de dessiccation, il se gonfle à peine dans l'eau froide, se dissout en petite quantité dans ce liquide bouillant, en offrant avec les réactifs les phénomènes que nous venons de signaler.

Cet acide, précipité de sa combinaison avec la potasse par l'acide muriatique, distillé dans une petite cornue de verre, ne s'est point boursoufflé et a fourni un produit qui contenait beaucoup d'huile empyreumatique, mais point d'ammoniaque ni d'acide muriatique : il est resté un charbon assez considérable.

Délayé dans l'eau et aidé d'une douce chaleur, il dégage l'acide carbonique de ses combinaisons alcalines.

Cet acide forme avec la potasse un sel très-soluble dans l'eau, que l'on obtient à l'état de gelée transparente en versant dans la liqueur de l'alcool affaibli qui entraîne l'excès d'alcali et la matière colorante si elle s'y trouve : cette gelée, lavée sur un linge avec de l'eau alcoolisée, exprimée et desséchée, est une combinaison neutre qui se gonfle dans l'eau en s'y dissolvant, et laisse, après l'évaporation du liquide, une masse fendillée transparente qui ressemble à de la gomme arabique, et a si peu de disposition à coller que le plus léger frottement suffit pour la détacher entièrement de la capsule.

La saveur de ce sel est fade et insipide. Projeté sur une plaque de fer chauffée au rouge sombre, il se bour-

souffle excessivement et laisse un résidu brun foncé, soluble dans l'eau, qui a les caractères de l'ulmine unie à la potasse. Exposé à la flamme d'une bougie sur une pointe d'argent, il brûle en produisant des filamens menus qui sortent de la masse incandescente, comme du vermicelle. Ces fils, exposés de nouveau à la flamme, se fondent en globules de sous-carbonate de potasse.

Ce sel, en dissolution dans l'eau, est coagulé en gelée par l'alcool, le sucre, le muriate de soude, l'acétate de potasse et les autres sels neutres.

Tous les sels terreux et métalliques le décomposent par doubles affinités.

Les acides, en s'unissant à la potasse, séparent l'acide en gelée.

100 parties de la combinaison neutre dont il s'agit, brûlées dans un creuset de platine, ont laissé une quantité de sous-carbonate de potasse, laquelle, chauffée au rouge avec de l'acide sulfurique, a donné 28 parties de sulfate de potasse, d'où il résulte que ce sel est formé de

| | |
|---|---|
| Acide, | 85; |
| Potasse, | 15. |
| | 100. |

Qu'on ne pense pas que ce sel reste sans usages; je suis persuadé qu'il recevra de nombreuses applications dans l'art du confiseur. Il est en effet remarquable qu'une si petite quantité de cette combinaison puisse communiquer à de grandes masses d'eau sucrée la propriété de se gélatiniser. J'ai fait dissoudre dans une quantité d'eau tiède une partie de ce sel produit avec la racine

de navet; j'ai fait dissoudre du sucre dans la liqueur, puis j'y ai ajouté une infiniment petite quantité d'acide; un instant après, le tout était pris en une masse de gelée tremblante du poids de 300 parties. J'ai préparé, par ce moyen, des gelées aromatisées, parfaitement transparentes et incolores, fort agréables au goût et à l'œil. J'ai fait aussi, avec de l'eau de roses colorée avec un peu de cochenille, de la gelée de roses d'un goût exquis.

Le même acide forme aussi avec l'ammoniaque affaiblie une combinaison soluble, laquelle, évaporée à siccité, laisse un sel neutre fade et peu sapide comme de la gomme, qui se sépare du vase évaporatoire en larges feuillets transparens, comme du verre de Moscovie. Sa dissolution se coagule d'ailleurs avec les réactifs absolument de la même manière que le sel précédent.

J'ai fait dissoudre un gramme de cette combinaison ammoniacale dans 100 grammes d'eau, et j'y ai ajouté de l'alcool, qui en a séparé une gelée transparente, laquelle, égouttée sur un linge, pesait 110 grammes. Au reste, ce sel peut servir, comme le précédent, à la préparation des gelées, et même avec plus d'avantage, puisqu'on l'obtient très-facilement à l'état neutre.

Les autres combinaisons de cet acide sont presque toutes insolubles, et peuvent s'obtenir par la voie des doubles décompositions.

L'acide sulfurique concentré paraît avoir peu d'action à froid sur le même acide; à l'aide de la chaleur, il se produit de l'acide sulfureux et de l'ulmine.

L'acide nitrique distillé à siccité sur lui a laissé un résidu qui a fourni à l'eau de l'acide oxalique; il est

resté une poudre blanche, laquelle, traitée par l'ammoniaque, s'y est dissoute en partie en laissant de l'oxalate de chaux. Un acide versé dans la dissolution ammoniacale en a séparé un sédiment grenu, cristallin, acidule, qui avait les caractères de l'acide mucique; chauffé dans un tube de verre, il a noirci, s'est fondu en se boursoufflant, et a produit un sublimé cristallin en aiguilles.

Telles sont les principales propriétés que j'ai reconnues à cet acide. On conçoit qu'un principe aussi universellement répandu dans tous les végétaux doit y jouer un rôle d'une grande importance, et mérite de fixer sérieusement l'attention des physiologistes.

Je suis très-disposé à penser qu'il n'est autre chose que le cambium ou la substance organisatrice de Grew et de Duhamel, qui se montre, comme on le sait, en gouttes gélatineuses partout où doivent s'opérer de nouveaux développemens.

Je tâcherai, au printemps, de vérifier si ma conjecture est fondée : en attendant, je propose le nom *pectique*, de πηκτις, coagulum, pour distinguer ce nouvel acide de ses congénères.

---

## Note *pour servir à l'histoire naturelle de l'Iode.*

Par M. Balard,

Préparateur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Peu de temps après la découverte de l'iode, MM. Gaultier de Claubry et Colin signalèrent l'amidon comme le plus sensible des réactifs propres à en manifester l'exis-

tence. Il suffit en effet de verser une solution aqueuse de cette substance végétale dans le liquide que l'on suppose contenir de l'iode, pour qu'on voie bientôt se manifester une teinte bleue due à la formation d'un iodure d'amidon. Si l'iode existait dans ce liquide à l'état de combinaison avec l'hydrogène, il serait nécessaire d'ajouter une goutte d'acide sulfurique, pour décomposer l'acide hydriodique, mettre l'iode à nu et produire la teinte bleue.

La délicatesse de ce réactif ne saurait être contestée; mais il n'en est pas à beaucoup près de même de la fidélité de ses indications. La majeure partie des corps qui peuvent, par eux-mêmes ou par l'intermède de l'eau, fournir de l'hydrogène, transforment l'iode en acide hydriodique, et font ainsi disparaître la couleur bleue, caractère de quelques-unes des combinaisons de l'iode et de l'amidon. L'acide sulfureux, l'hydrogène sulfuré, produit presque constant de l'incinération des corps organisés qui contiennent des sulfates terreux ou alcalins, sont surtout susceptibles de produire cet effet.

La science offrirait au besoin plusieurs moyens d'obvier à cet inconvénient : celui que je propose me paraît caractérisé par la facilité de son exécution et la justesse de ses résultats. Il y a long-temps que, dans l'exécution de recherches analytiques entreprises sur quelques productions de la Méditerranée, j'avais fait usage du chlore; mais comme l'addition d'un petit excès de ce corps a autant d'influence que l'hydrogène sulfuré pour détruire la couleur bleue que l'on a tant d'intérêt à produire, on procède de la manière suivante :

Après avoir mêlé la liqueur qui contient de l'iode

avec l'amidon et l'acide sulfurique, on verse doucement par-dessus une petite quantité de solution aqueuse de chlore; ce liquide, à raison de sa moindre pesanteur spécifique, ne se mêle pas avec le précédent, et, au point où ils se touchent, on voit se manifester une zone bleue qui, quelque faible qu'elle soit, ne peut être méconnue, à raison du contraste qui existe dans sa teinte, et la limpidité parfaite des couches inférieures et supérieures. Si l'on agite légèrement le vase de manière à mêler une partie du liquide inférieur avec un peu de la solution de chlore qui le surnage, la teinte bleue se développe dans la partie avec laquelle le chlore est en contact; mais si on venait à agiter tout-à-fait et à mêler complètement les deux liqueurs, la couleur bleue disparaîtrait sur-le-champ si le chlore était en excès.

C'est au moyen de ce réactif ainsi modifié que j'ai pu constater l'existence de l'iode dans des corps où on l'avait vainement cherché jusqu'ici, par exemple, dans divers mollusques marins, nus ou testacés, tels que les *doris*, les *vénus*, les *huîtres*, *etc.*; plusieurs polypiers et végétaux marins, les *gorgonia*, le *zostera marina*, *etc.*, et notamment dans l'eau-mère des salins alimentés par la Méditerranée.

La très-petite quantité d'iode qui se trouve dans l'eau de la mer ne m'a pas permis de reconnaître dans quel état il y existe, mais la nature des réactifs propres à montrer son existence fait soupçonner qu'il y est à l'état d'hydriodate.

J'indique avec confiance aux chimistes le procédé qui m'a si bien réussi, persuadé qu'il épargnera bien des

tâtonnemens infructueux à ceux qui s'occupent à rechercher l'iode dans les corps qui ne le contiennent que dans de très-faibles proportions.

---

## Extrait *d'une Note sur des Pyrites trouvées dans la sablière de Grenelle, et sur le pouvoir décolorant de plusieurs substances minérales.*

Par M. Payen.

En creusant un puits dans la sablière de la plaine de Grenelle, on a rencontré une couche assez épaisse de pyrites, dont quelques fragmens étaient recouverts d'une matière noirâtre, fibreuse, légère et sans consistance, résultant d'une altération de débris ligneux.

Ces débris calcinés ont donné un résidu d'une couleur noire assez intense, qui, au lieu de diminuer la couleur de la dissolution de sucre brut ou de caramel, en a augmenté l'intensité dans le rapport de 4 à 5 environ.

Dans l'intention de rechercher la cause de cette anomalie, on a fait l'analyse des pyrites. Parmi les matières qu'on y a reconnues, savoir : le bisulfure de fer, l'alumine, le lignite, la silice, quelques traces de sulfate et d'hydrochlorate d'ammoniaque et de matière animale, la dernière seule colore l'eau, mais en si faible proportion qu'il est évidemment impossible qu'elle contribue sensiblement à augmenter la coloration du caramel étendu : or, puisque la pyrite calcinée et convertie en protosulfure de fer fonce la couleur du caramel, il était naturel de penser que c'est cette substance qui donne à

la portion ligneuse la propriété de colorer. C'est en effet ce qui a été confirmé en calcinant un mélange de pyrites pures et d'un grand excès de charbon. Le résidu a augmenté la coloration de la dissolution de caramel; mais, traité par l'acide hydrochlorique pour décomposer le protosulfure, il a produit un effet contraire.

M. Payen avait indiqué précédemment et a constaté de nouveau que les solutions de chaux, de potasse, de soude et d'ammoniaque augmentent très-fortement l'intensité de la couleur du caramel et des solutions de sucre brut. Ce résultat peut indiquer l'une des causes des différences considérables observées entre l'action décolorante des résidus de bleu de Prusse, qui retiennent toujours un peu de potasse.

Si le proto-sulfure de fer colore les solutions de caramel et de sucre brut, l'on peut avec quelque probabilité attribuer aux proportions variables du per-sulfure de fer les effets variables des schistes bitumineux carbonisés sur la matière colorante du sucre brut.

1°. L'ampelite graphique de Valleville (près de Cherbourg), dont le résidu charbonneux était graveleux, d'un noir peu intense, n'a pas décoloré sensiblement la solution de caramel.

2°. L'ampelite graphique de Rennes, dont le résidu était plus noir que le précédent, a enlevé au liquide d'épreuve $\frac{1}{4}$ de sa matière colorante.

3°. Le schiste de Muss, aux environs d'Autun, qui a donné beaucoup de bitume à la calcination, et dont le résidu était très-noir, n'a enlevé à la liqueur d'épreuve que $\frac{1}{6}$ de sa matière colorante.

4°. Le schiste bitumineux de Monte-Viale, près de Vicence, en feuillets très-minces, dont le résidu, d'un noir peu foncé, se divisait long-temps en lamelles fines sous le pilon sans se réduire en poudre, n'a pas paru avoir agi sur la matière colorante de la liqueur d'épreuve.

5°. Le charbon noir très-intense du schiste de Menat, près de Clermont, dont M. Payen a précédemment indiqué le pouvoir décolorant et la composition chimique, a enlevé à la liqueur les $\frac{2}{5}$ de sa matière colorante.

6°. Enfin, le charbon d'os choisis (noir animal), d'une nuance moins foncée que le précédent, a enlevé au liquide d'épreuve les $\frac{3}{5}$ de sa matière colorante.

---

## Analyse *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

### *Séance du lundi 17 janvier 1825.*

Son Excellence le Ministre de l'Intérieur écrit que le Roi a confirmé l'élection de M. Morel de Vindé et celle du général Andreossy.

M. Magendie annonce qu'il a constaté sur une femme affectée de la cataracte l'insensibilité de la rétine. Le contact d'un instrument avec cet organe n'a produit aucune sensation appréciable; la malade a recouvré la vue immédiatement après l'opération.

M. de Basterot lit un Mémoire qui a pour objet la description géologique du terrain tertiaire du sud-ouest

de la France, comprenant des observations générales sur des mollusques fossiles.

Les membres nommés au scrutin, qui examineront les Mémoires présentés au concours pour le prix de physiologie, sont MM. Magendie, Cuvier, Duméril, Geoffroy-Saint-Hilaire et Portal.

M. Foderà annonce qu'il enverra prochainement les résultats de ses recherches concernant la contraction musculaire, l'action de divers agens sur le système nerveux et sur la fibre musculaire, et la formation de globules analogues aux globules blancs du sang.

M. Collin présente un Mémoire, qui sera lu dans une des prochaines séances, *sur la Fermentation du sucre.*

On nomme au scrutin la Commission qui, cette année, décernera le prix de statistique. Elle sera composée de MM. Fourier, Coquebert-Montbret, Maurice, Ramond et Laplace.

M. Cauchy présente un nouveau Mémoire *sur l'Intégration des équations linéaires et sur les vibrations des plaques élastiques rectangulaires.*

M. Girou de Buzareingue lit la première partie d'un Mémoire *sur la Génération.*

M. Bailly communique des Recherches statistiques qu'il a faites sur les fièvres intermittentes.

*Séance du lundi 24 janvier.*

L'Académie reçoit une Note de M. Belin de Laval sur un moyen qu'il a découvert de dessaler l'eau de mer; un dessin amélioré du levier moteur de M. Ferrand; un Mémoire de M. Paul Coqueré *sur une Expérience d'acoustique propre à faire découvrir le rapport et le*

*nombre des sons harmoniques graves produits par la coexistence de deux ou de plusieurs sons donnés*; enfin, une Notice de M. Richardot, chef de bataillon d'artillerie, *sur un Moyen économique qui se présente de soi-même pour l'établissement des paratonnerres.*

Sur l'avis affirmatif de la Section de Médecine et de Chirurgie, l'Académie décide qu'il y a lieu à procéder au remplacement de M. Deschamps, décédé.

M. Raspail lit un Essai *d'une Classification des graminées, fondée sur l'étude physiologique des caractères de cette famille.*

M. Gaymard lit des Observations *sur les Biphores et sur les Beroès.*

M. Latreille communique une Notice *concernant un Insecte du genre brachycères, qui est considéré comme un talisman par les femmes du royaume de Berta.*

M. Lassis lit une Note *relative à la dissidence qui règne entre les médecins sur tout ce qui concerne les maladies épidémiques.*

La Commission qui adjugera, cette année, le prix de mécanique fondé par M. de Monthyon, sera composée de MM. Prony, Dupin, Girard, Navier et Poisson.

*Séance du lundi* 31 *janvier.*

L'Académie reçoit de M. Briot, professeur à Besançon, deux Mémoires destinés à concourir pour le prix fondé par M. de Monthyon : l'un *sur un nouveau forceps*; l'autre intitulé : *Considérations sur les Voies lacrymales, leurs maladies et les moyens de les guérir.* M. Croyset, officier de santé à Cus, canton de Noyon, adresse, pour

le même objet, une boîte contenant divers instrumens. M. François Casimir Bayeul présente le modèle d'une nouvelle cheminée ; M. Morin de Strasbourg deux écrits, dont l'un est intitulé : *Des Huîtres, et des moyens de les conserver fraîches* ; et l'autre, Mémoire *sur l'Aérostation* ; M. Voisard de Metz, des Recherches *sur la Détermination des fonctions de deux variables* ; M. Samuel Pugh, des Considérations *sur le calorique et sur la lumière*.

M. Bosc, au nom d'une Commission, fait un rapport sur la seconde partie de l'Histoire des Lichens, par M. Delise. Les conclusions sont que ce nouvel ouvrage n'est nullement inférieur au premier, et qu'il est à desirer, pour l'avantage de la science, qu'il soit livré à l'impression le plus promptement possible.

M. Duméril, au nom d'une Commission, fait un rapport sur la nouvelle méthode de guérir les anus contre nature que M. Dupuytren a imaginée.

« Lorsque, par suite d'accidens ou de quelques maladies, malheureusement trop fréquentes, le long tube » qui forme le canal intestinal vient à s'ouvrir sur quelques-uns des points de la circonférence du ventre, il » en résulte une infirmité continuelle, inguérissable par » les seuls efforts de la nature...... » Obvier à cette misérable existence, a été le but que M. Dupuytren s'est proposé.

La méthode de ce savant chirurgien consiste dans la destruction faite avec art de la cloison qui sépare les deux portions du tube intestinal. L'instrument dont il se sert et qu'il appelle *entérotome*, est composé de deux branches d'acier qu'on peut à volonté réunir ou séparer

en les croisant. Ces branches, pourvues de lames et de tranchans très mousses, sont mises en mouvement à l'aide d'une vis passant à travers leurs manches. Tout ce qu'elles embrassent est saisi et retenu par elles, soit à l'aide de leurs bords dentelés, soit à cause de leur pénétration mutuelle.

Sur quarante et un malades, la plupart réputés incurables, qu'on a traités par la nouvelle méthode, vingt-neuf ont été guéris complètement.

L'opinion des commissaires est que le Mémoire de M. Dupuytren peut être considéré comme un traité complet de l'affligeante maladie connue sous le nom d'*anus contre nature*, et que l'auteur a rendu un grand service à l'humanité. Ces conclusions ont été adoptées par l'Académie.

M. Becquerel lit des *Recherches sur le Pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.* (Nous espérons publier prochainement ce travail.)

M. Cauchy présente un Mémoire sous le titre suivant: *Nouveau genre de calcul analogue au calcul infinitésimal.*

M. Colin lit le Mémoire qu'il avait déposé dans une autre séance, *sur la Fermentation vineuse.*

M. Delapylaie commence la lecture d'un Mémoire *sur l'Encornet des pêcheurs.*

La Section d'Economie rurale présente, en comité secret, la liste suivante de candidats pour la place de correspondant vacante dans son sein : MM. Mathieu de Dombasle; Jonh Sinclair; Bigot de Morogues; Gasparin; Girou de Busareingue; Lair; D'Hombres Firmas.

*Séance du lundi 7 février.*

M. Olivier adresse de Stockholm quelques théorèmes relatifs à la théorie des engrenages.

On nomme, au scrutin, la Commission qui décernera le prix fondé par M. de Monthyon pour les meilleurs ouvrages de médecine et de chirurgie : les commissaires sont MM. Portal, Duméril, Chaussier, Magendie et Pelletan.

M. Vauquelin fait un rapport sur un moyen que M. Gazil avait proposé comme propre à dessaler l'eau de mer. Ce moyen n'a pas réussi. En versant de l'eau de mer dans un long tube rempli de terre, une partie de l'eau douce que cette terre renfermait s'écoule la première par en bas. C'est là ce qui avait trompé M. Gazil. Pour prouver que la terre n'a pas la faculté de retenir les sels en dissolution dans l'eau de mer, on l'a préalablement desséchée : alors l'eau est sortie salée dès les premiers instans.

M. Magendie communique une observation qui confirme ses vues concernant le nerf appelé *olfactif*, qu'il croit entièrement étranger à l'olfaction : c'est celle d'un homme en qui la partie antérieure du cerveau et le nerf olfactif étaient altérés ou détruits, sans qu'il eût perdu l'odorat.

La Commission qui sera chargée de décerner le prix fondé par M. de Monthyon en faveur de celui qui aura découvert le moyen de rendre un art mécanique moins insalubre, sera composée de MM. d'Arcet, Thenard, Gay-Lussac, Vauquelin et Dulong.

On procède au scrutin pour l'élection d'un corres-

pondant : aucun candidat n'ayant réuni la majorité absolue, il sera procédé, dans la prochaine séance, à un second tour.

La Section de Chirurgie et de Médecine présente, en comité secret, la liste suivante de candidats pour la place actuellement vacante dans son sein :

MM. Boyer et Dubois, sur la même ligne; Larrey; Dupuytren; Richerand; Jules Cloquet; Roux; Béclard; Serre; Lisfranc; Ribes; Hippolyte Cloquet; Edwards; Desmoulins. La discussion des titres est renvoyée à la séance prochaine.

*Séance du lundi 14 février.*

M. Bailly communique plusieurs résultats d'un travail dont il s'occupe, tendant à reconnaître si les naissances des mâles et des femelles offrent quelque coïncidence avec des causes physiques susceptibles d'être appréciées par nos moyens d'observation. Il annonce un Mémoire détaillé sur cet objet.

Le résultat du scrutin pour la place de correspondant est favorable à M. Mathieu de Dombasle.

M. Dupetit-Thouars fait un rapport sur un Mémoire de Botanique de M. Raspail.

M. Cauchy remet une Note *concernant le Calcul des résidus et les intégrales définies.*

L'Académie procède, en comité secret, à la discussion des titres des candidats présentés dans la séance précédente. M. Arago propose d'inscrire le nom de M. Flourens dans la liste de présentation. Cette demande est accueillie. M. Flourens sera considéré comme candidat désigné par l'Académie.

# MÉMOIRE *sur quelques-uns des phénomènes que présente l'électricité voltaïque dans son passage à travers les conducteurs liquides.*

PAR Mr AUG. DE LA RIVE,

Professeur de physique générale dans l'Académie de Genève.

(Lu à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève le 20 janvier 1825.)

LES nouvelles données que les travaux scientifiques des dernières années ont fournies sur l'électricité; les moyens aussi exacts que délicats que quelques physiciens ont tirés des découvertes récentes pour s'assurer de la présence de cet agent et pour en mesurer l'intensité; tels sont les motifs qui m'ont engagé à m'occuper d'un sujet sur lequel on a beaucoup travaillé, mais que personne, à ma connaissance, n'a repris dans son entier, en s'aidant des nouveaux secours que la science a mis entre les mains des expérimentateurs.

Chercher, au moyen des faits anciens et de quelques faits nouveaux, quelle est l'hypothèse qui peut le mieux expliquer, dans l'état actuel de la science, les décompositions chimiques opérées par la pile voltaïque; examiner, soit expérimentalement, soit théoriquement, quelques-uns des autres phénomènes que présente l'électricité quand on la considère dans son mouvement à travers les liquides conducteurs; tel est le double but que je me propose dans cette recherche.

## § I. *Examen des décompositions chimiques opérées par la pile de Volta.*

Ce que la décomposition des corps par la pile de Volta présente de caractéristique, est l'accumulation des élémens semblables dans un même lieu, c'est-à-dire, autour de chacun des poles, et par conséquent la séparation complète des élémens opposés, qui, après la décomposition, se trouvent isolés les uns des autres.

Aussi est-ce cette partie du phénomène qui a rendu toute théorie très-difficile à faire; et quoiqu'on ait posé comme principe propre à expliquer ce genre d'action, que les élémens décomposés étaient attirés, les uns par le pole positif, les autres par le pole négatif, on a plutôt exprimé un fait qui dans sa généralité peut être vrai, que donné une explication des phénomènes produits, complète et satisfaisante dans tous ses détails.

Cependant quelques auteurs ont attaqué la question de plus près, et l'on peut, je crois, ramener à deux les explications proposées.

Les uns, comme M. Biot (1), se fondant sur l'expérience du ruban de Volta, ont supposé que tout liquide conducteur placé entre les deux poles se partage, comme la bande de papier humide, en deux portions douées d'un état électrique différent, et que les élémens des corps ayant des électricités opposées tendent les uns et les autres à se rendre dans la portion du liquide possédant une électricité contraire à la leur.

---

(1) *Précis élémentaire de Physique*, t. 1, p. 647 et suiv., 2e édition.

Cette explication me paraît fonder le phénomène des décompositions uniquement sur les propriétés manifestées par les deux électricités, quand, isolées, elles sont à l'état de *tension*, sans attribuer au *courant électrique* qui résulte de leur réunion aucune influence immédiate.

D'autres auteurs, à l'exemple de Grotthus (1), admettent, comme dans l'explication précédente, une décomposition opérée à chaque pole par l'effet des électricités contraires et des poles et des élémens; mais ils supposent en outre qu'il y a une recomposition entre tous les élémens intermédiaires, de manière que toutes les molécules de la portion du liquide comprises entre les deux póles échangent mutuellement leurs parties constituantes, et qu'il n'y a que les élémens opposés des molécules extrêmes qui, ne se recomposant pas, sont mis en évidence.

Pour pouvoir apprécier le mérite comparatif de ces deux théories, étudions les faits et voyons s'ils ne peuvent pas conduire à une autre explication. De ces faits, les uns sont relatifs aux conditions nécessaires et favorables pour la production des décompositions par la pile; les autres comprennent les résultats mêmes des phénomènes produits.

Parmi les premiers il faut remarquer:

1°. La nécessité que la solution qui doit être décomposée fasse partie d'un circuit voltaïque fermé, et que par conséquent elle soit traversée par le courant électrique, dont la présence est toujours accusée par l'ac-

---

(1) *Annales de Chimie*, t. LVIII, p. 54.

tion qu'il exerce sur une aiguille aimantée. Ainsi je me suis assuré qu'on ne réussit point à produire de décompositions, en plongeant uniquement dans le liquide l'un des poles de la pile, et pas mieux en plongeant les deux poles opposés de deux piles différentes. Comment concilier ces résultats négatifs avec l'idée que les décompositions sont dues uniquement à la tension électrique dans laquelle le liquide est supposé se constituer (1)?

2°. Il faut que le liquide interposé entre les deux poles soit conducteur de l'électricité ; et plus il est bon conducteur, plus l'intensité de la décomposition est grande : c'est un fait qui se trouve consigné dans les *Recherches physico-chimiques* de MM. Gay-Lussac et Thenard, et que les personnes qui se servent de piles voltaïques sont appelées à vérifier constamment. Peut-il s'accorder encore avec la supposition d'un état de tension électrique permanent dans les deux parties du même liquide ?

3°. Une troisième circonstance qui favorise la production du phénomène, est le nombre des points de contact du métal qui sert de pole avec le liquide dans lequel il plonge. MM. Thenard et Gay-Lussac paraissent croire qu'il y a une limite au-delà de laquelle une addi-

(1) On ne peut objecter à cette remarque l'expérience du Dr Wollaston, dans laquelle ce savant parvient, au moyen de l'électricité ordinaire, à décomposer l'eau dans ses deux élémens; car, 1°. il n'obtient pas les élémens séparés ; 2°. les moyens même qu'il est obligé d'employer pour arriver à ce résultat prouvent la nécessité d'un courant électrique continu pour obtenir une décomposition.

tion à la longueur du fil conducteur qui plonge dans le liquide cesse d'avoir de l'influence (1) ; mais si l'on augmente l'étendue du métal dans le sens de la largeur, l'énergie du courant électrique augmente, et il m'a paru que l'augmentation ne cesse d'avoir lieu que lorsque la lame de métal qui sert de pole atteint la longueur et la profondeur du vase contenant le liquide.

4°. Enfin, une dernière cause qui a une grande influence, est le mode même de la production de l'électricité. On connaît, à cet égard, la différence qui existe entre les effets des piles à plaques nombreuses et les effets des piles qui ne sont composées que d'un petit nombre de paires ; nous reviendrons plus loin sur la cause de cette différence.

Passons actuellement aux phénomènes produits.

Le premier qui frappe d'abord est la séparation des élémens du liquide conducteur dans lequel plongent les deux poles, et l'accumulation des élémens semblables autour de chacun de ces poles. C'est sur la surface même du métal qui sert de pole que viennent se déposer les élémens séparés, comme le prouvent la simple inspection quand il s'agit des élémens gazeux et solides, et les réactifs les plus sensibles quand il s'agit des élémens liquides. On a coutume cependant de regarder comme tenant à l'état électrique du liquide, en supposant que ce liquide soit une solution saline, sa séparation en deux portions, l'une acide, l'autre alcaline, séparation indiquée par les couleurs rouge et verte que prennent les parties opposées de la solution, quand, avant d'être sou-

---

(1) *Rech. phys.-chim.*, t. 1, p. 19, 20 et 21.

mise à l'action voltaïque, elle a été colorée par une teinture bleue végétale.

Ce fait a même servi d'argument à ceux qui supposent que le liquide interposé entre les deux poles se constitue en deux états opposés de tension électrique (1). Je me suis assuré qu'il n'est qu'un résultat direct de la présence de l'acide et de l'alcali, qui, produits à chacun des poles, se répandent dans les parties environnantes du liquide. A cet effet, je me suis servi, pour opérer la décomposition, d'un vase séparé en trois loges par deux vessies qui empêchaient les solutions salines contenues dans chacune des loges de communiquer entr'elles, sans empêcher cependant le courant électrique de s'établir.

La solution saline (hydrochlorate de soude) était colorée en bleu : après avoir placé les poles + et — dans chacune des deux cases extrêmes du vase, les liquides de ces deux cases ont seuls changé de couleur ; et quelque longue qu'ait été la durée de la décomposition, la couleur du liquide contenu dans la case du milieu n'a point été altérée ; preuve que la masse totale du liquide interposé ne se partage point en deux portions, l'une acide, l'autre alcaline, ou, comme on le supposait, l'une *positive*, l'autre *négative*.

Mais de quelle portion du liquide proviennent ces élémens, qui sont mis en évidence à chacun des poles précisément dans les mêmes proportions que celles dans lesquelles ils se trouvent combinés ? Est-ce la molécule d'eau en contact avec le pole +, est-ce celle en contact avec le pole —, est-ce toutes les deux, est-ce une mo-

(1) Biot, *Précis élémentaire de Physique*, t. 1, p. 649.

lécule intermédiaire qui est décomposée en oxigène et l'hydrogène ?

Cherchant à résoudre cette question, j'ai séparé en trois loges égales, au moyen de deux vessies, un tube fermé à ses deux extrémités, et d'un pouce de diamètre environ. Chaque compartiment est surmonté d'un tube vertical d'un diamètre assez fin, avec lequel il communique; la hauteur du liquide dans ce tube sert à indiquer si la masse totale du liquide contenu dans la loge correspondante a diminué ou augmenté. On place les deux poles dans les loges extrêmes, et après que la décomposition a eu lieu pendant un temps assez long, on compare les hauteurs du liquide dans les différens tubes avec les mêmes hauteurs avant l'expérience. L'eau pure n'a pu me donner de résultat satisfaisant à cause d'un phénomène d'impulsion qui se manifeste dans ce cas (1).

---

(1) M. Porret (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. II, p. 137) avait déjà remarqué que si l'on sépare un vase en deux compartimens par un diaphragme de vessie, que l'on remplisse d'eau l'un de ces compartimens, et qu'on en verse dans l'autre quelques gouttes seulement; en plaçant le pole + dans la case remplie et le pole — dans celle qui est à-peu-près vide, l'eau sera poussée à travers la vessie dans cette dernière case, et même y prendra un niveau plus élevé que celui qu'elle conserve dans la case adjacente. Cette expérience ne m'a paru être exacte que lorsqu'on se sert d'eau très-peu conductrice, comme de l'eau de rivière, de l'eau distillée : si l'on emploie une solution saline assez concentrée, il n'y a plus d'impulsion. Il semblerait résulter de là que cette impulsion provient de la résistance que présente le liquide au

Les solutions salines présentent aussi un inconvénient à cause de la différence qui existe entre le volume occupé dans la solution par la base transportée à l'un des poles, et le volume occupé par l'acide à l'autre pole, différence qui s'oppose à une indication précise et simultanée d'un abaissement dans les deux tubes extrêmes.

Cependant, une assez grande quantité d'expériences m'ont conduit à conclure que c'étaient les portions du liquide contiguës à chacun des poles qui étaient décomposées. Ainsi, en plaçant dans les trois loges de l'appareil décrit ci-dessus, tantôt une solution de carbonate de potasse, tantôt une solution d'hydro-chlorate de soude, j'ai vu le volume du liquide diminuer d'une manière sensible, seulement dans la case où plongeait le pole +, parce que la portion décomposée n'était point remplacée vu l'état gazeux de l'acide, tandis que la base non gazeuse arrivant au pole — compensait par son volume la perte occasionée par la portion du sel décomposée dans cette case. Avec un sel métallique, comme de l'acétate de plomb, je me suis assuré qu'il y avait décomposition au pole —, comme l'a prouvé l'abaissement du liquide dans le tube correspondant à la case où était placé ce pole; abaissement provenant de ce que le volume du plomb réduit était moins considérable que celui de l'acétate décomposé.

---

trajet de l'électricité du pole + au pole —, résistance que le courant surmonterait en donnant à l'eau une impulsion dans ce sens. Je ne puis entrer pour le moment dans plus de détails sur ce phénomène curieux, qui mérite un examen plus approfondi.

Il n'est pas nécessaire de faire remarquer que j'ai eu soin de vérifier avant et après chaque expérience que les vessies ne permettaient pas aux liquides des différentes cases de communiquer entre eux, et que j'ai tenu compte soit de la température, soit des différences de pression que les hauteurs relatives du liquide dans les tubes pouvaient occasioner sur les vessies séparatrices, et par suite sur les liquides contigus.

Le résultat précédent se trouve encore confirmé si l'on place dans le circuit, au lieu de liquides homogènes, des conducteurs liquides hétérogènes. Si l'on met, par exemple, une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque dans chacune des cases extrêmes et une solution de sulfate de zinc dans la case intermédiaire, les élémens de la solution d'ammoniaque se développeront seuls à chacun des poles : ce sera, au contraire, les élémens du sulfate de zinc qui se manifesteront si l'on met cette solution dans les cases extrêmes, et celle d'hydrochlorate d'ammoniaque au milieu. Au reste, les expériences nombreuses et variées de Davy, les recherches intéressantes de Hisinguer et de Berzelius considérées sous ce rapport, conduisent à la même conclusion.

Une autre question plus difficile à résoudre se présente ici. Je vois de l'oxigène et de l'acide produits au pole +, de l'hydrogène et de l'alcali développés au pole —; que deviennent l'hydrogène et l'alcali des molécules décomposées au pole +, l'oxigène et l'acide de celles décomposées au pole —?

Dans l'hypothèse qui regarde le liquide interposé entre les poles comme se partageant en deux parties douées d'une tension électrique différente, les élémens positifs

repoussés de l'atmosphère positive viennent se rendre dans l'atmosphère négative, et les élémens négatifs dans la positive. Mais comment se fait-il que ces molécules transportées en sens inverse, douées d'une grande affinité les unes pour les autres et d'une électricité contraire ne se réunissent pas et ne se combinent pas ? D'ailleurs, on ne voit point cheminer ces molécules d'un pole à l'autre, même avec le secours d'un fort microscope, comme je m'en suis assuré avec celui d'Amici.

Dans l'hypothèse de Grotthus mentionnée plus haut, les molécules élémentaires ne sont point transportées ; mais toutes les molécules du liquide échangeant mutuellement leurs élémens, il ne reste que les élémens opposés des deux molécules extrêmes qui se dégagent. Quoiqu'il semble bizarre, au premier coup-d'œil, d'attribuer au même agent dans les mêmes circonstances, deux effets opposés (une décomposition et une recomposition) tant qu'il s'agit de liquides conducteurs homogènes, l'explication est soutenable. Mais si l'on place dans le circuit à la suite l'un de l'autre deux liquides différens, elle me paraît inadmissible. Si l'on met, par exemple, dans l'une des cases du vase divisé en compartimens par les vessies, une solution de sulfate de zinc, et dans l'autre de l'eau, on verra en plaçant le pole + dans la solution de sulfate de zinc et le pole — dans l'eau, l'oxide de zinc s'accumuler autour de ce dernier. Or, il n'a pu y avoir décomposition et recomposition de sulfate de zinc dans l'eau qui n'en contient pas, et il a fallu que l'oxide de zinc traversât cette eau. Admettre que la succession des décompositions et recompositions a lieu dans la portion du conducteur liquide

qui est le sulfate de zinc, comme on ne peut admettre qu'elle ait lieu dans celui qui est l'eau, ce n'est que reculer inutilement la difficulté. D'ailleurs, ce qui prouve que chacun des élémens traverse bien tout le liquide compris entre les deux poles, c'est l'accumulation des deux acides au pole + et des deux bases au pole —, quand on met deux solutions de sels différens à chacun des poles. C'est ce qui arrive dans plusieurs cas, comme je m'en suis assuré, et comme l'ont prouvé d'ailleurs depuis long-temps les travaux des savans que j'ai cités plus haut, entre autres l'expérience par laquelle MM. Hisinguer et Berzelius, en mettant l'un des poles dans une solution de sulfate de potasse, et l'autre dans une solution de muriate d'ammoniaque communiquant avec la première par un siphon plein d'eau pure, obtiennent les deux acides au pole +, et les deux bases au pole — (1).

Il est quelques exceptions, il est vrai, au fait du transport des acides et des bases à chacun des poles, dans le cas où il pourrait se former dans le trajet des sels insolubles; mais l'exception ne peut faire règle : on doit seulement en tenir compte dans l'explication qu'on peut donner du phénomène général.

J'ai cherché à montrer comment les faits ne s'accordent complètement avec aucune des explications présentées : voyons s'il est possible d'en trouver une plus satisfaisante.

Ne pourrait-on pas expliquer, ou du moins généraliser (car *expliquer* n'est pas autre chose en physique) les faits relatifs aux décompositions et aux transports opé-

---

(1) *Annales de Chimie*, t. LI, p. 167.

rés par la pile, en admettant d'une manière explicite ce qui peut être a déjà été admis implicitement par quelques auteurs, savoir : l'existence de deux influences que l'on nommera *courant* si l'on veut, l'une provenant du pole +, l'autre du pole —, influences qui, prises dans leur ensemble, constituent le *courant voltaïque* caractérisé par ses effets lumineux, calorifiques et magnétiques.

Ces deux courans élémentaires, doués chacun d'une affinité très-énergique pour les molécules de nature différente et opposée, s'établissent dès que les deux poles de la pile plongent dans un liquide conducteur. Le courant qui sort du pole + attaque la molécule contiguë, s'empare de son hydrogène si c'est de l'eau, de sa base si c'est un sel, et laisse l'oxigène et l'acide, qui alors se dégagent. Tendant avec une certaine force d'impulsion au pole —, ce courant transporte avec lui, à travers le conducteur humide, les molécules avec lesquelles il est uni; mais ne pouvant les transporter à travers un conducteur sec, comme le métal, il les abandonne en entrant dans le pole +. Le courant négatif agit de la même manière sur l'oxigène et l'acide de la molécule qu'il rencontre en sortant du pole —. Ainsi, dans cette hypothèse, qui me paraît embrasser tous les phénomènes observés, les élémens accumulés autour de chaque pole proviennent de deux sources; 1°. de l'un des élémens de la molécule dont l'autre élément a été emporté par le courant sortant; 2°. de l'élément semblable amené par le courant arrivant du pole opposé.

Sans entrer dans les détails nécessaires pour éviter toute objection à cette hypothèse, je remarquerai seulement, qu'on peut comprendre facilement, à cause de la

différence de porosité, la différence des conducteurs secs et humides relativement à la facilité que le courant possède de traverser les derniers avec les molécules qu'il transporte sans pouvoir traverser les autres.

Quant à l'affinité de chaque courant simple pour les molécules élémentaires, il n'y a rien là d'impossible, puisque nous voyons des effets d'attraction très-puissans produits par le courant composé, et puisque nous voyons les courans électriques jouer un grand rôle dans toutes les actions chimiques, et que même, comme le démontrent les expériences de M. Becquerel, il ne peut y avoir action chimique sans production de courans. N'est-il donc pas à présumer que c'est réciproquement l'introduction de courans énergiques (comme ceux de la pile) dans une solution saline qui trouble l'équilibre résultant de la neutralisation des forces d'affinité?

Tous les phénomènes de décomposition et de transports par la pile peuvent donc être considérés comme n'étant plus que le résultat d'un jeu d'affinité entre les élémens des corps et les courans électriques. Si le courant a plus d'affinité pour l'un des élémens de la molécule que n'en a l'autre élément, il l'emporte; s'il en a moins, il ne l'emporte pas : c'est ce qui arrive, par exemple, si l'élément transporté étant de l'acide hydrochlorique, on fait passer le courant à travers une solution d'argent, métal qui, ayant une grande affinité pour l'acide et formant avec lui un sel insoluble, s'en empare, laissant au courant l'acide nitrique, qui alors sera déposé au pole positif.

En vertu de quelle force peut avoir lieu cette attraction des courans pour les molécules? est-ce un résultat

de l'attraction des électricités opposées, ou un résultat de l'attraction des courans électriques existans dans chaque molécule, et sollicité par les courans électriques semblables introduits dans le liquide ? Est-ce le résultat d'une autre action inconnue ? Je n'essaierai point de traiter cette question, dont la solution n'est d'ailleurs nullement indispensable pour l'explication des faits : seulement je remarquerai que l'opinion qui ferait résulter l'affinité des courans pour les molécules élémentaires, de courans semblables existans dans ces molécules, serait appuyée par les travaux et les observations intéressantes faites sur ce sujet par M. Ampère.

§ II. *Examen des Courans électriques considérés dans les conducteurs liquides, et des Modifications qu'ils y subissent.*

Nous avons, dans le paragraphe premier, examiné l'action de l'électricité voltaïque dans les liquides, uniquement sous le rapport des décompositions qu'elle y opère ; nous avons cherché à expliquer les phénomènes propres à ce genre d'action en les attribuant aux courans électriques ; considérons actuellement ces courans dans les conducteurs liquides ; assurons-nous d'abord de leur existence, puis étudions les modifications dont ils sont susceptibles, et voyons si nous ne pouvons pas tirer de ce travail quelque probabilité de plus en faveur de l'hypothèse présentée, et quelque lumière nouvelle sur les propriétés et le mode d'action de l'agent qui nous occupe.

Il y a déjà quelque temps que M. le docteur Prévost et moi, à l'occasion d'un travail sur les rapports de conductibilité des différens liquides, travail que nous pré-

senterons incessamment à la Société, nous avions observé l'existence des courans électriques dans les liquides servant de conducteurs à l'électricité voltaïque. En plongeant dans un pareil liquide les deux extrémités de platine d'un galvanomètre très-sensible, nous nous assurâmes de l'existence dans ce liquide d'un courant dont l'intensité variait suivant la place où nous plongions les pointes du galvanomètre : ce courant était dû uniquement à celui de la pile, puisque dès que l'on enlevait l'un des poles il n'en restait aucune trace. Quant à son intensité, elle était la plus considérable sur la ligne menée par les deux poles, et même sur cette ligne elle augmentait à partir du milieu à mesure qu'on approchait de chacun des poles. Les courans se trouvaient répandus néanmoins dans presque tout le liquide, quoique celui-ci fût renfermé dans un baquet assez considérable (de près de deux pieds de diamètre), et leur diffusion paraissait d'autant plus grande que le liquide était moins bon conducteur : en sorte qu'il semblait que les courans sortis de chacun des poles rencontrant un corps qui s'opposait à leur libre propagation, étaient forcés de s'éloigner de la ligne droite pour décrire d'un pole à l'autre des courbes d'un contour plus ou moins grand.

Je renvoie, pour les détails ultérieurs relatifs à cette expérience, au travail que je fais en commun avec M. Prévost, et dont j'ai parlé ci-dessus.

Cette diffusion des courans dans tout le liquide devient encore plus manifeste si l'on sépare en deux compartimens, par une lame de platine, le vase qui renferme la solution saline conductrice. Quoique la lame placée perpendiculairement sur la ligne menée par les deux

poles eût près d'un pied de longueur, et que chacun des poles ne fût environ qu'à trois pouces de distance de cette lame, néanmoins on voyait sur chacune de ses surfaces, dans toute leur étendue, un dégagement de gaz assez considérable; et la solution saline teinte en bleu rougissait et verdissait dans toutes ses parties contiguës à la lame séparatrice.

Cette expérience nous conduit à une classe de faits assez curieux, et qui se présentent quand on se sert de conducteurs métalliques pour unir deux parties de liquide dans chacune desquelles plonge l'un des poles. On sait qu'alors il y a quatre poles au lieu de deux, le dégagement des gaz et autres élémens ayant lieu aussi-bien aux extrémités de la lame ou du fil qui lie les deux portions du liquide, qu'aux poles eux-mêmes. Ce phénomène s'explique facilement dans l'hypothèse de courans partant de chacun des poles avec les molécules qu'ils transportent : tant que le conducteur qu'ils traversent est liquide, ils peuvent cheminer avec leur fardeau; mais rencontrent-ils un conducteur métallique, ils déposent en y entrant les élémens qu'ils portaient, puis, en sortant, en reprennent d'autres, et par conséquent donnent lieu ainsi à une nouvelle décomposition.

Si la chose se passe de cette manière, la quantité d'élémens, de gaz, par exemple, dégagée à chacun des poles de la pile, doit rester la même, que le courant rencontre ou ne rencontre pas des conducteurs métalliques placés perpendiculairement sur sa direction : dans le premier cas seulement, il occasione un plus grand nombre de décompositions que dans le second. C'est en effet ce que j'ai vérifié en séparant une cuve de verre d'un

pied de long sur deux pouces de large et deux pouces de profond, en quatre compartimens par trois lames de platine de même largeur que le vase, et en remplissant chacune de ces cases d'une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque assez concentrée. L'un des poles (le pôle —) fut placé à l'une des cases extrêmes, et disposé de manière à ce qu'on pût recueillir et mesurer au moyen d'un tube gradué la quantité de gaz dégagée dans un certain temps, une minute, par exemple; et je m'assurai que, dans les mêmes circonstances, cette quantité restait la même, que le liquide fût continu ou qu'il fût interrompu par une, par deux ou par trois lames de platine. Il faut remarquer qu'il y avait aussi un fort dégagement de gaz sur les deux surfaces de chacune des lames, de manière qu'avec la même force on pouvait décomposer, dans un cas, une masse triple de celle décomposée quand le liquide était continu. Si, au lieu de se servir d'une lame séparatrice, on réunit les deux portions du liquide par un fil conducteur, la quantité de gaz dégagée n'est plus la même dans les deux cas : elle est moindre quand on se sert du fil, parce que le courant répandu dans tout le liquide trouve moins de points de contact avec le conducteur, que quand l'on se sert d'une lame aussi large que l'espace occupé par la solution : cela explique aussi pourquoi il vaut mieux, comme nous l'avons indiqué au commencement, donner le plus d'étendue possible dans le liquide au conducteur métallique qui sert de pole. Il faut avoir soin, dans les expériences précédentes, pour qu'elles soient rigoureusement comparables, que la longueur du trajet du courant à travers le liquide soit sensiblement la même dans tous les

cas, quoique cependant une différence peu considérable dans la distance des deux poles n'ait aucun effet quand le courant est énergique, et quand on se sert de solutions salines concentrées qui conduisent assez bien.

Il faut aussi, comme je viens de le dire, que le courant soit assez intense pour faire bien l'expérience. J'ai réussi avec une pile de 40 paires chargée avec une solution d'hydrochlorate de soude, contenant en outre un peu d'acide sulfurique ou nitrique; mais il faut agir immédiatement et ne pas attendre que le courant se soit affaibli; car alors la quantité de gaz dégagée n'est plus la même, que le liquide soit contenu, ou qu'il soit interrompu par les lames de platine.

J'observerai encore que si l'on ne fait que plonger le diaphragme métallique entre les deux poles sans empêcher les deux portions du liquide de communiquer entr'elles, le dégagement n'est point en rapport avec la portion du trajet occupée par ce diaphragme, comme si le courant se déchargeait difficilement des élémens qu'il transporte, se déviait de sa route (du moins en partie) lorsqu'il en a la possibilité, plutôt que de les abandonner en traversant la lame.

Les diverses anomalies que je viens de signaler m'engagèrent à examiner de plus près les modifications que subissent les courans électriques répandus dans les liquides, quand on interpose des lames métalliques sur leur passage.

A cet effet, je pris la cuve de verre séparée en divers compartimens par des lames de platine; je remplis ces différentes cases, tantôt d'une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque, tantôt d'hydrochlorate de soude : les

effets étaient les mêmes dans les deux cas. Le courant arrivait par le fil d'un galvanomètre assez sensible, muni d'une division et d'une aiguille mobile sur pivot pour éviter les agitations fréquentes d'une aiguille suspendue par un fil, et recouvert d'une cloche de verre qui servait à prévenir tout mouvement étranger.

La pile dont je me servis dans ces expériences était une pile à auges de 60 paires simples de 16 p. carrés de surface pour chaque plaque; elle était chargée, comme je l'ai dit précédemment. Je pris avec soin les angles de déviation de l'aiguille du galvanomètre à différens degrés d'intensité du courant de la pile, c'est-à-dire, à des intervalles plus ou moins longs depuis le moment où la pile était en action, et j'observai aussi ces angles pour une même intensité de la pile, soit que le liquide fût continu, soit qu'il fût interrompu par une ou plusieurs lames métalliques.

Je déduis d'un grand nombre d'expériences faites dans les diverses circonstances que je viens de mentionner, les conclusions suivantes :

1°. Qu'une ou plusieurs lames métalliques placées perpendiculairement dans un liquide conducteur, sur la ligne menée par les deux poles, diminue l'intensité du courant qui est obligé de les traverser;

2°. Que cette diminution est presque nulle quand le courant qui traverse les lames est très-énergique, et provient d'une pile composée d'un grand nombre de paires; mais que l'intensité du courant diminue dans une proportion d'autant plus rapide en traversant le même nombre de lames, que son intensité originale est moins considérable; que c'est donc pour cela qu'il faut un

courant énergique pour obtenir à chacun des pôles la même quantité de gaz provenant de la décomposition, lorsque le liquide est continu et lorsqu'il est interrompu par des lames;

3°. Que de deux courans ayant même intensité, l'un originairement, l'autre après avoir traversé une ou plusieurs lames métalliques, le premier diminue beaucoup plus par l'interposition d'une lame, que le second, qui a passé déjà à travers des lames semblables.

Les deux courans comparés proviennent de la même pile; mais l'un a une intensité originale plus faible que l'autre, parce qu'on l'observe après un intervalle de temps plus long depuis le moment où la pile est en action.

Tels sont les résultats auxquels j'ai été conduit en me servant de lames de platine; un rapprochement avec les phénomènes analogues que présentent la lumière et le calorique n'échappera à personne. Au reste, pour donner plus de clarté aux conclusions que je viens d'énoncer, je transcrirai ici le résultat de quelques expériences que j'ai répétées un très-grand nombre de fois sans aucune variation sensible dans les indications qu'elles m'avaient fournies.

*Degrés du galvanomètre correspondans aux diverses intensités du courant, suivant le nombre des lames de platine interposées et l'énergie de la pile.*

| | o lames interposées. | 1 lame. | 2 lames. | 3 lames. |
|---|---|---|---|---|
| 1re Expér. | 83° | 83° | 82°,5 | 82° |
| 2e Expér. | 81 | 78 | 75 | 71 |
| 3e Expér. | 80 | 76 | 72 | 66 |
| 4e Expér. | 79 | 73 | 68 | 65 |
| 5e Expér. | 78 | 73 | 67 | 62 |
| 6e Expér. | 77 | 71 | 64 | 57 |
| 7e Expér. | 76 | 70 | 63 | 56 |
| 8e Expér. | 75 | 67 | 61 | 53 |
| 9e Expér. | 74 | 66 | 60 | 52 |
| 10e Expér. | 73 | 65 | 58 | 50. |

Ce tableau met en évidence les résultats généraux exposés ci-dessus. 1°. On voit, par exemple, que le courant d'une intensité marquée par 83° de déviation de l'aiguille du galvanomètre, ne diminue que de 1° par son passage à travers trois lames de platine, et que plus il est faible, plus est forte la proportion dans laquelle son intensité diminue par l'interposition des lames.

2°. Le courant réduit à 78° par son passage à travers une lame (2e expérience) opère une déviation de 75°, après avoir traversé une deuxième lame; tandis qu'un courant originairement de 78° (5e expérience) se trouve être réduit à 73° après avoir traversé une première lame. De même, le courant réduit à 75° après avoir traversé deux lames (2e expérience) devient 71° par son passage à travers une troisième, et le courant pris d'une intensité initiale de 75° (8e expérience) est réduit à 67° par l'interposition d'une première lame.

D'où provient cette diminution dans l'intensité du courant quand il est obligé de traverser ces lames métalliques ? Est-ce un résultat de l'affinité des molécules transportées pour le courant qui les entraîne, affinité en vertu de laquelle elles retiendraient une partie de ce courant quand il les abandonne en entrant dans le métal ? Est-ce le résultat d'un changement de vitesse dans le courant, occasioné par la difficulté qu'il éprouve de passer d'un conducteur à l'autre ? et cette difficulté proviendrait-elle de la couche d'air qui, restant adhérente à la lame métallique, empêche un contact parfait entre elle et le conducteur liquide ?

Voilà une série de questions difficiles à résoudre, auxquelles on pourrait en ajouter un grand nombre sur l'analogie qui paraît exister entre les phénomènes observés et ceux que présentent dans des circonstances assez semblables la lumière et le calorique ; mais ce n'est pas encore le moment d'entrer dans une pareille discussion. Les faits existent, quelle est la cause qui les produit ? C'est ce qu'on ne peut décider qu'en les variant et en les étudiant beaucoup plus que je ne l'ai fait.

Cependant, dans le but de jeter quelque lumière sur ce sujet, je fis les mêmes expériences que j'ai déjà rapportées, avec des lames métalliques de différentes matières. Toutes me présentèrent dans leur généralité les mêmes phénomènes que m'avaient offerts les lames de platine, seulement avec des intensités absolues différentes et dépendantes de leur nature. Plus le métal de la lame employée se trouvait facilement attaquable par le conducteur liquide, moins il y avait de diminution dans l'intensité du courant appelé à en traverser une ou plusieurs.

Ainsi, dans les mêmes circonstances, un courant d'une intensité marquée par 56° fut réduit à 45° par une lame de platine interposée, à 51° par une lame de cuivre, et à 54° seulement par une lame de zinc. Plusieurs expériences m'ont donné des résultats semblables.

Cette différence, occasionée par la nature différente de lames, provient-elle de ce que l'action chimique du conducteur sur la lame rend le contact plus parfait, ou de ce que l'affinité de la lame pour les élémens transportés par le courant, facilite à celui-ci le dépôt des molécules avec lesquelles il se trouve uni ?

Je me suis assuré que l'électricité excitée par l'action de la lame sur le liquide ne pouvait avoir aucune influence, et cela en arrivant aux mêmes résultats, quel que fût le sens du courant, qui, s'il avait été augmenté, quand il cheminait dans un sens, par l'électricité propre au métal interposé, aurait dû être diminué par la même cause quand il cheminait dans le sens opposé. D'ailleurs, l'action chimique de la solution saline sur le métal n'était pas très-intense ni instantanée.

Si, dans les expériences précédentes, au lieu de prendre pour liquide conducteur une solution saline très-concentrée, on se sert d'une eau peu conductrice, comme de l'eau de rivière (l'eau du Rhône, par exemple), les résultats ne sont pas tout-à-fait les mêmes.

Comme une très-petite différence dans la longueur du trajet du courant à travers cette eau a une grande influence sur l'intensité de ce courant, il faut avoir soin que cette longueur reste la même quand il n'y a point ou qu'il y a plusieurs lames interposées, afin que les expériences soient rigoureusement comparables. Il résulte de là un

moyen simple de mesurer la diminution d'intensité qu'éprouve le courant en traversant chaque lame, c'est de commencer l'expérience avec un courant initial rendu peu intense par la longueur du trajet qu'il a à parcourir dans l'eau, puis de ramener l'aiguille du galvanomètre toujours au même degré pour chaque lame que le courant traverse, en rapprochant à mesure les deux poles l'un de l'autre. Par ce moyen, les diminutions d'intensité éprouvées par le courant dans son passage à travers chaque lame, sont représentées par les distances auxquelles il est nécessaire de placer les deux poles dans l'eau pour que l'aiguille du galvanomètre reste dans chaque cas toujours au même degré.

Pour déduire de là les rapports entre les diminutions d'intensité, il faudrait connaître les rapports qui existent entre l'intensité d'un courant et son trajet plus ou moins long à travers un liquide donné. Ces rapports ne peuvent être déterminés que par un examen détaillé des circonstances qui influent sur la conductibilité des liquides. Ce n'est qu'après l'achèvement du travail que j'ai annoncé plus haut que je pourrai arriver à des conclusions exactes sur la mesure des effets, dont je me borne, pour le moment, à indiquer l'existence (1).

---

(1) On aurait pu déduire de la comparaison entre les angles de déviation marqués par l'aiguille du galvanomètre, les rapports existans entre la diminution d'intensité du courant et le nombre des lames métalliques interposées sur son passage, et chercher la grandeur de ces rapports pour différens degrés d'énergie dans la source productrice de l'électricité. Mais, outre que l'intensité de la cause qui produit la

Une particularité distinctive que l'eau pure employée comme conductrice m'a offerte, est la production d'un effet semblable sur le courant par son passage à travers une lame ou à travers une certaine étendue d'eau : c'est-à-dire que le courant réduit à une intensité donnée pour avoir passé à travers une certaine étendue d'eau, était moins diminué par son passage à travers une lame métallique, qu'un courant de même intensité, mais qui, étant plus faible originairement, n'avait pas parcouru à travers l'eau un trajet aussi long. Il paraissait donc que le courant, dans le premier cas, avait subi la même modification que lorsque, dans un bon conducteur liquide, il passait à travers une lame interposée, modification qui le rendait propre à traverser plus facilement une lame placée sur sa route.

Je n'entrerai pas dans le détail des expériences qui m'ont conduit à ce résultat. Je signalerai seulement encore un fait relatif à la nature de la surface des lames qui, suivant qu'elle était polie ou non, laissait plus ou moins difficilement passer le courant ; c'est ce que j'ai éprouvé avec des lames de cuivre et de fer-blanc, soit polies, soit non polies ; mais la différence était peu consi-

---

déviation sur l'aiguille de déclinaison n'est point proportionnelle à l'angle de déviation, mais bien au sinus de cet angle, il aurait fallu, pour tirer de cette comparaison quelque résultat certain, un appareil beaucoup plus délicat que celui dont je me suis servi, soit sous le rapport de l'horizontalité et de la mobilité de l'aiguille employée, soit sous le rapport de la finesse de la division destinée à mesurer les angles.

dérable et sensible seulement dans les premiers momens, probablement parce que l'action du liquide sur la lame détruisait rapidement le poli de sa surface.

Les résultats des expériences qui précèdent peuvent fournir une explication, qui me paraît simple et naturelle, de la différence observée entre les effets d'une pile formée avec un petit nombre de paires, et ceux d'une pile composée de beaucoup de plaques. Les piles de la première espèce sont surtout propres à produire les effets qui se manifestent quand le circuit est fermé par un très-bon conducteur (un conducteur métallique), comme les effets de calorique et de magnétisme. Les piles de la seconde espèce sont utiles et même nécessaires pour produire avec un certain degré d'énergie les phénomènes qui ont lieu quand le circuit est fermé par un conducteur imparfait, comme un conducteur humide : tels sont les phénomènes de décomposition des liquides, et les commotions sur les corps organisés. La différence des sources productrices de l'électricité explique assez facilement la différence dans les deux classes d'effets.

D'abord, quant à la quantité totale d'électricité produite, quelle que soit la classe d'effets que l'on veuille obtenir, elle dépend, pour une même pile, de la surface des plaques. C'est un fait bien connu pour ce qui concerne les phénomènes de calorique et de magnétisme, et qui, pour les phénomènes de la seconde classe, a été signalé par MM. Gay-Lussac et Thenard (1), et que l'on peut vérifier constamment.

(1) *Recherches physico-chimiques*, t. 1, p. 34.

Maintenant pourquoi le courant produit par une pile composée d'un grand nombre de plaques est-il susceptible d'agir avec efficacité sur les mauvais conducteurs? Il lui arrive précisément ce qui arrivait dans les expériences précédentes, au courant que nous faisions passer à travers un certain nombre de lames : plus il en avait traversé, plus il était propre à en traverser de nouvelles, et par conséquent aussi les mauvais conducteurs liquides, que nous avons vu jouir, à cet égard, de la même propriété que les lames.

Ainsi, dans une pile à plaques nombreuses, le courant, dans son circuit, ayant eu à passer un grand nombre de fois du liquide dans une lame, aura, relativement au conducteur humide, plus de facilité à le traverser que le courant produit par une pile contenant seulement quelques paires, quelle que soit d'ailleurs leur surface. Mais présentez à cette dernière un conducteur métallique qui n'offre pas la même résistance au courant, alors il passera tout, et l'effet produit sera très-grand. On pourrait, pour plus de clarté, considérer dans le courant électrique deux portions distinctes d'électricité, l'une pouvant seule passer à travers tous les conducteurs bons et médiocres, l'autre seulement à travers les bons conducteurs. Le passage du courant à travers un grand nombre de plaques isole ces deux portions en retenant celle qui n'est pas favorable pour les conducteurs médiocres, et en laissant passer seulement l'autre. L'électricité produite par une pile de quelques paires seulement n'ayant pas été *tamisée*, pour ainsi dire, comme dans le cas précédent, si vous lui présentez un conducteur médiocre, toute la portion non capable de

la traverser sera arrêtée ; il ne restera que la petite portion qui peut passer : présentez-lui un bon conducteur, les deux parties y passeront, et l'effet sera alors considérable.

L'action chimique des liquides placés dans les auges sur les plaques de la pile, s'explique aussi de la même manière : cette action, comme l'on sait, est surtout propre à augmenter les effets de calorique et de magnétisme, parce que, comme nous l'avons vu, en faisant passer le courant à travers les lames, la proportion de l'électricité arrêtée est d'autant moindre que le liquide conducteur exerce une action chimique plus considérable sur la lame séparatrice.

Dans tout ce qui précède, je ne considère point les piles sous le rapport de la production du courant électrique, mais seulement sous le rapport de la conductibilité de l'électricité produite ; car, comme le prouve son action sur l'aiguille aimantée, le courant électrique traverse tout aussi bien la pile elle-même que le conducteur extérieur qui complète le circuit.

Des expériences variées, faites avec des piles composées de paires plus ou moins nombreuses, ont confirmé la vérité des explications qui précèdent. Ainsi une pile de 10 paires seulement, mais à surface assez grande et chargée très-fortement, faisait rougir un fil de laiton de $\frac{1}{4}$ de ligne d'épaisseur et de plus de 4 pouces de long. Le même courant établi à travers une solution bonne conductrice (d'hydrochlorate d'ammoniaque) fit dévier l'aiguille de 50° environ ; en interrompant le liquide par une lame de platine, l'aiguille ne marqua plus que 5° ; tandis qu'un courant produit par une pile de

60 paires, et affaibli de manière à ne marquer que 50$^{d}$ après avoir traversé une lame de platine, marquait encore 40° après en avoir traversé une autre. Dans ce premier cas, le courant, n'ayant traversé que 10 lames, n'avait pas, comme dans le second, où il en avait traversé 61, subi la modification qui le rendait propre à la fois ou à en traverser d'autres, ou à passer plus facilement à travers des conducteurs imparfaits.

Avec des piles de 20 et de 40 paires, j'ai obtenu des résultats analogues. Il serait curieux, mais je crois difficile, de chercher les rapports existans entre le nombre des plaques de la pile et la facilité donnée au courant de se frayer un passage. Peut-être trouverait-on une loi qui, théoriquement, pourrait conduire à la limite où le courant ayant traversé un certain nombre de plaques, ne serait plus du tout arrêté, soit par son passage à travers d'autres lames, soit par sa transmission à travers des conducteurs plus ou moins imparfaits.

Je terminerai par une dernière remarque relative à l'état électrique des conducteurs et des lames que le courant a traversés.

Ritter, dans son travail sur les piles secondaires (1), avait remarqué qu'une succession de lames métalliques de même nature, interrompue, à des alternatives égales ou inégales, par des plaques de carton mouillé, conservait, après qu'on avait mis un pareil système dans le circuit voltaïque, une électricité sensible, mais de peu

(1) *Journal de Physique*, t. LVII, p. 345 et suiv.; Biot, *Précis élémentaire de Physique*, seconde édition, p. 676 et suiv.

de durée. Dans les appareils assez semblables aux piles secondaires qui m'ont servi à faire passer le courant à travers un liquide interrompu par des lames, j'ai vu se manifester aussi de l'électricité après la rupture du circuit. Je me suis assuré qu'elle provenait des lames de métal, et nullement du liquide; et il semblait que c'était cette électricité retenue par chaque lame pendant que l'appareil était dans le circuit voltaïque, qui ensuite se manifestait quand le courant était interrompu. Les conducteurs de platine même qui servent à faire communiquer les poles avec le liquide qu'on veut décomposer, gardent une quantité d'électricité assez considérable, et indiquée par le galvanomètre. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à les enlever lorsqu'ils ont servi de poles à la pile pendant quelques instans, puis les placer chacun à l'extrémité d'un galvanomètre : aussitôt qu'on les fait communiquer en les plongeant dans un même liquide conducteur, il y a courant dont le sens est tel, qu'il parcourt le fil métallique du galvanomètre à partir du fil de platine qui a servi de pole + et allant à celui qui a servi de pole —.

Un seul des fils qui ont servi de poles suffit pour établir le courant, pourvu que l'autre extrémité du galvanomètre soit terminée par un fil de platine plongeant dans le même liquide où l'on met celui qui a servi de pole. Le sens du courant dépend alors de celui des poles de la pile auquel se trouvait d'abord lié le fil de platine employé. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces fils conservent assez long-temps leur faculté d'exciter des courans électriques, et que ni le contact, ni le frottement ne parviennent à la détruire. Cette électricité peut-elle

donc être une électricité de tension telle que celle excitée par les machines ordinaires ? Ce que je viens de dire pour les fils conducteurs placés aux extrémités de la pile, a lieu de la même manière pour chaque conducteur métallique que peut rencontrer dans le liquide le courant électrique; d'où résulte un courant électrique manifesté par l'appareil quand il n'est plus dans le circuit voltaïque, et quand on réunit ses extrémités par le fil du galvanomètre. J'observerai encore que la distribution de l'électricité dans ces lames conductrices ne m'a point paru suivre une loi uniforme et constante, ni quant à l'intensité, ni quant au sens du courant. Elle différait, à cet égard, de la distribution observée par Ritter au moyen des décompositions chimiques et des effets physiologiques, mode qui me paraît moins sensible et moins exact que celui qui résulte de l'emploi du galvanomètre.

En résumant les principaux résultats contenus dans ce Mémoire, je crois pouvoir conclure:

1°. Que dans l'état actuel de la science, l'explication la moins improbable que l'on puisse donner du phénomène des décompositions chimiques, est de le faire dépendre des courans électriques répandus dans le liquide conducteur de l'électricité.

2°. Que ces courans, dont l'existence est démontrée dans tout liquide qui sert à compléter le circuit voltaïque, sont susceptibles de certaines modifications relativement à leur intensité, quand on place sur leur trajet une ou plusieurs lames métalliques ou des conducteurs liquides imparfaits.

3°. Que ces modifications, assez analogues à celles qu'é-

prouvent la lumière et le calorique dans des circonstances semblables, peuvent servir à expliquer la différence observée entre les effets produits par une pile composée d'un grand nombre paires, et ceux provenant d'une pile qui n'est formée que par une petite quantité de plaques.

---

## Présence *de l'Iode dans les eaux minérales sulfureuses.*

Par le Dr Cantu.

M. Angelini paraît être le premier qui ait annoncé l'existence de l'iode dans les eaux minérales. Il l'a reconnue d'abord dans l'eau salée de Voghera, au moyen de l'amidon, mais sans faire connaître plus particulièrement le procédé qu'il a suivi. Plus tard il l'a aussi reconnue dans l'eau de Sales, dans le Voguerais.

M. Cantu, professeur de chimie à Turin, étonné des effets merveilleux de l'eau sulfureuse de *Castelnovo d'Asti* dans le traitement du goître et d'autres maladies du système glandulaire, avait entrepris, mais sans succès, de rechercher l'iode dans cette eau. Encouragé par les expériences de M. Angelini sur l'eau de Sales, il s'est livré à de nouvelles recherches qui enfin lui ont donné d'heureux résultats.

Après avoir évaporé à siccité l'eau de Castelnovo d'Asti, il traite le résidu par l'alcool, qui dissout le sel d'iode et les chlorures déliquescens; il fait évaporer

la dissolution alcoolique, dissout le résidu dans une faible dissolution d'amidon, et y ajoute un peu de chlore. Par ce moyen, le liquide devient d'une belle couleur bleue, comme lorsqu'on verse dans une solution aqueuse d'iode quelques gouttes de celle d'amidon. On peut encore, au lieu d'employer l'alcool, traiter immédiatement par l'amidon et le chlore l'eau-mère restant après l'évaporation presqu'à siccité de l'eau minérale. En employant ce procédé sur une demi-bouteille d'eau de Castelnovo d'Asti, la plus riche en iode de toutes celles qu'il a examinées, M. Cantu a convaincu MM. Giobert et Michelotti de l'existence de l'iode dans cette eau minérale. M. Cantu est porté à penser que l'iode existe dans toutes les eaux sulfureuses qui contiennent en même temps des chlorures; mais il n'ose point prononcer avant d'avoir fait de nouveaux essais. Comme elles ne donnent point immédiatement de bleu avec l'amidon, l'iode doit y être à l'état d'iodure.

Diverses eaux minérales non sulfureuses, et particulièrement celle de l'Echaillon en Savoie, qui donne un douzième de son poids de sel marin, et dont on connaît la grande action contre le goître, n'ont donné aucune trace d'iode.

(*Mémoires de Turin*, t. XXIX, p. 221.)

**Température** *de quelques animaux des régions polaires.*

La table suivante est tirée de la Relation du second Voyage du capitaine Parry. Les températures ont été observées par le capitaine Lyon, immédiatement après la mort des animaux.

| Date. | Nom de l'animal. | Température centigrade | |
|---|---|---|---|
| | | de l'animal. | de l'atmosphère. |
| 15 nov. 1821. | Renard arctique. | + 41°,5 | — 25°,6 |
| 3 décemb... | *id*........... | + 38,6 | — 20,5 |
| *id*...... | *id*........... | + 37,8 | — 19,4 |
| 11.......... | *id*........... | + 38,5 | — 29,4 |
| 15.......... | *id*........... | + 37,6 | — 26,2 |
| 17.......... | *id*........... | + 36,6 | — 23,3 |
| 19.......... | *id*........... | + 37,6 | — 25,6 |
| 3 janv. 1822. | *id*........... | + 40,2 | — 30,5 |
| 9.......... | Lièvre blanc... | + 38,3 | — 29,4 |
| 10.......... | Renard....... | + 37,8 | — 26,2 |
| 17.......... | *id*........... | + 41,1 | — 35,6 |
| 24.......... | *id*........... | + 39,4 | — 32,8 |
| *id*.......... | *id*........... | + 39,4 | — 32,8 |
| *id*.......... | *id*........... | + 38,9 | — 31,7 |
| 27.......... | *id*........... | + 38,3 | — 35,6 |
| 2 février.... | Loup........ | + 40,5 | — 32,8 |

ERRATA.

Page 119, ligne 1 : *au lieu de*, 4 kilog., *lisez*, 4 $\frac{1}{4}$ p. c.
Page 123, ligne 4 : *au lieu de*, explication, *lisez*, évaluation.

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. *Février* 1825.

| JOURS. | 9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | MIDI. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | 3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | 9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | THERMOMÈTRE. maxim. | minim. | ÉTAT DU CIEL à midi. | VENTS à midi. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 767,74 | + 4,6 | 99 | 766,09 | + 5,6 | 98 | 764,27 | + 6,5 | 98 | 763,14 | + 6,4 | 99 | + 6,5 | + 3,8 | Couvert, brouillard. | S. O. |
| 2 | 770,10 | + 2,1 | 93 | 769,92 | + 5,0 | 78 | 768,60 | + 6,0 | 73 | 764,48 | + 2,8 | 89 | + 6,0 | + 0,9 | Nuageux. | N. O. |
| 3 | 754,60 | + 8,0 | 94 | 752,24 | +10,8 | 88 | 749,82 | +10,5 | 94 | 749,25 | + 6,5 | 96 | +11,0 | + 5,8 | Couvert. | S. O. |
| 4 | 750,86 | + 2,8 | 92 | 751,40 | + 3,6 | 72 | 753,06 | + 2,5 | 75 | 752,50 | + 0,0 | 96 | + 3,6 | — 0,4 | Neige par intervalles. | O. |
| 5 | 750,90 | — 1,5 | 98 | 751,78 | + 1,0 | 76 | 751,48 | + 2,7 | 72 | 751,67 | — 1,0 | 98 | + 2,8 | — 2,0 | Beau, br. à l'horiz. | O. |
| 6 | 756,35 | + 2,0 | 91 | 757,65 | + 3,6 | 85 | 759,10 | + 3,2 | 86 | 761,80 | + 1,[illegible] | 94 | + 3,6 | + 0,5 | Couvert. | N. O. |
| 7 | 766,56 | + 1,2 | 98 | 760,56 | + 3,9 | 94 | 766,08 | + 4,6 | 88 | 763,27 | + 2,2 | 93 | + 4,6 | + 0,0 | Nuageux, brouill. | S. O. |
| 8 | 757,24 | + 2,7 | 99 | 759,15 | + 5,1 | 98 | 759,94 | + 7,2 | 92 | 762,00 | + 5,3 | 98 | + 7,3 | + 1,2 | Couvert, brouillard. | S. O. |
| 9 | 767,30 | + 4,2 | 97 | 768,38 | + 7,7 | 82 | 768,84 | + 8,2 | 75 | 770,70 | + 2,5 | 97 | + 8,3 | + 0,4 | Très-nuageux. | O. N. O. |
| 10 | 772,14 | + 3,0 | 98 | 772,10 | + 8,0 | 86 | 771,53 | + 8,1 | 79 | 772,24 | + 2,0 | 99 | + 8,1 | + 1,2 | Couvert, brouillard. | N. |
| 11 | 773,07 | — 0,4 | 99 | 772,94 | + 2,2 | 99 | 771,95 | + 8,1 | 79 | 771,98 | + 1,5 | 99 | + 8,1 | — 1,8 | Brouillard épais. | O. |
| 12 | 772,48 | + 1,2 | 99 | 771,92 | + 5,8 | 91 | 771,24 | + 8,5 | 71 | 770,67 | + 2,5 | 96 | + 8,5 | + 0,0 | Brouillard. | N. O. |
| 13 | 772,23 | + 2,6 | 99 | 771,50 | + 6,2 | 98 | 770,48 | + 7,5 | 98 | 770,30 | + 5,4 | 98 | + 7,5 | + 1,5 | Couvert, brouillard. | N. |
| 14 | 768,38 | + 6,6 | 98 | 767,57 | + 8,1 | 98 | 766,25 | + 8,8 | 98 | 765,09 | + 4,8 | 98 | + 8,8 | + 4,8 | Couvert, brouillard. | N. E. |
| 15 | 762,40 | + 4,9 | 99 | 761,39 | + 5,8 | 98 | 759,66 | + 7,8 | 82 | 758,94 | + 2,9 | 98 | + 8,0 | + 2,3 | Couvert, brouillard. | N. E. |
| 16 | 759,82 | + 0,0 | 99 | 760,68 | + 3,8 | 99 | 760,65 | + 5,9 | 99 | 761,86 | + 4,0 | 98 | + 5,9 | — 0,9 | Couvert, brouillard. | O. N. O. |
| 17 | 763,30 | + 6,2 | 98 | 762,82 | +10,1 | 86 | 761,78 | +10,2 | 85 | 760,67 | + 4,8 | 96 | +10,3 | + 4,0 | Quelques éclaircies. | S. O. |
| 18 | 759,94 | + 7,0 | 98 | 760,05 | +10,9 | 90 | 760,17 | +10,9 | 84 | 761,73 | + 7,9 | 97 | +11,8 | + 5,2 | Quelques éclaircies. | S. |
| 19 | 764,34 | + 8,6 | 92 | 763,98 | +11,0 | 84 | 763,70 | +11,8 | 78 | 764,80 | + 7,5 | 95 | +13,0 | + 4,4 | Légers nuages. | S. |
| 20 | 767,10 | + 5,0 | 99 | 767,28 | + 9,5 | 92 | 766,94 | +11,0 | 80 | 768,14 | + 9,0 | 88 | +11,0 | + 2,2 | Brouillard. | O. faible. |
| 21 | 770,00 | + 6,5 | 96 | 769,84 | +10,6 | 90 | 769,18 | +10,6 | 84 | 769,10 | + 5,8 | 94 | +10,6 | + 3,8 | Quelques éclaircies. | N. faible. |
| 22 | 768,92 | + 5,5 | 85 | 768,42 | + 7,0 | 72 | 767,10 | + 6,5 | 73 | 765,33 | + 5,0 | 82 | + 7,0 | + 4,5 | Couvert, brouillard. | N. |
| 23 | 761,90 | + 4,0 | 86 | 761,25 | + 7,2 | 59 | 760,12 | + 8,2 | 59 | 760,72 | + 3,5 | 81 | + 8,3 | + 1,5 | Beau. | E. |
| 24 | 762,68 | + 3,3 | 84 | 762,60 | + 6,5 | 63 | 762,22 | + 7,2 | 60 | 763,65 | + 2,4 | 78 | + 7,3 | — 1,9 | Petits nuages blancs. | E. N. E. |
| 25 | 765,60 | + 0,9 | 90 | 765,00 | + 3,5 | 78 | 764,52 | + 4,6 | 68 | 764,77 | + 0,8 | 88 | + 4,6 | — 1,0 | Nuageux. | N. E. |
| 26 | 764,58 | — 0,8 | 93 | 764,53 | + 0,8 | 71 | 763,50 | + 1,8 | 59 | 763,20 | + 0,6 | 82 | + 2,3 | — 2,2 | Nuageux. | N. N. E. |
| 27 | 759,10 | + 0,2 | 90 | 756,50 | — 0,4 | 98 | 751,90 | — 0,3 | 99 | 747,03 | + 1,0 | 99 | + 1,1 | — 0,8 | Neige, brouillard. | S. |
| 28 | 745,42 | + 2,5 | 99 | 744,80 | + 4,5 | 99 | 746,52 | + 3,8 | 99 | 752,03 | + 1,5 | 99 | + 4,5 | + 0,8 | Pluie fine, brouill. | N. O. |
| 1 | 761,38 | + 2,9 | 96 | 761,53 | + 5,4 | 86 | 761,27 | + 5,9 | 83 | 761,11 | + 2,8 | 96 | + 6,2 | + 1,1 | Moyennes du 1 au 10. | Pluie en centim. |
| 2 | 766,31 | + 4,2 | 98 | 766,01 | + 7,3 | 94 | 765,28 | + 9,1 | 85 | 765,41 | + 5,0 | 96 | + 9,3 | + 2,2 | Moyenn. du 11 au 20. | Cour, 3,130 |
| 3 | 762,27 | + 2,8 | 90 | 761,62 | + 5,0 | 79 | 760,63 | + 5,3 | 75 | 760,73 | + 2,6 | 88 | + 5,7 | + 0,6 | Moyenn. du 21 au 28. | Terrasse, 2,426 |
| | 763,39 | + 3,3 | 95 | 763,15 | + 6,0 | 86 | 762,52 | + 6,9 | 81 | 762,54 | + 3,5 | 94 | + 7,1 | + 1,3 | Moyennes du mois, + 4°,3. | |

# Examen *chimique des eaux de Carlsbad, de Teplitz et de Konigswart.*

Par Mr J. Berzelius.

(Traduit des Mémoires de l'Académie royale des Sciences de Stockholm (1).)

Les eaux de Carlsbad se distinguent non moins par la manière extraordinaire dont elles sortent de terre, que par leurs propriétés médicinales. Elles ont été plus d'une fois l'objet d'un examen chimique. Le Dr Becher est le premier qui en ait fait une analyse exacte, en l'année 1770. Il vivait, comme médecin, à Carlsbad même, et c'est à lui que nous sommes redevables de ce que nous savons jusqu'à présent sur les propriétés physiques de ces eaux, dont il avait fait pendant une longue suite d'années l'objet principal de son attention. Quoique son analyse chimique remonte à un temps où cette partie de la science était peu cultivée; quoique Becher ait été obligé de trouver lui-même les méthodes propres à opérer la séparation des substances cherchées, il réussit, malgré cela, par une clarté de vues plus qu'ordinaire et par des répétitions fréquentes, à donner à son travail un tel degré d'exactitude, que, pour la connaissance des eaux de Carlsbad comme médicament, l'analyse de Becher suffit encore parfaitement.

(1) Il nous a semblé qu'un simple extrait ne ferait pas suffisamment connaître ce beau travail de M. Berzelius : les lecteurs nous sauront certainement gré de leur en avoir présenté la traduction complète.

Les eaux sortent à Carlsbad en plusieurs endroits et forment des sources de températures différentes. Becher analysa cinq de ces sources, savoir, le Sprudel, le Neubrunnen, le Muhlbrunnen, le Gartenbrunnen (nommé à présent le *Thousienbrunnen*) et le Schlossbrunnen. Le résultat général fut qu'elles contenaient toutes les mêmes parties constituantes, en quantité presque égales, et qu'elles étaient, ainsi que les branches d'un même torrent d'eau chaude, à différentes températures, parce qu'elles sont diversement refroidies par les couches environnantes de roches et de terre, avant que chacune de ces branches vienne au jour.

Becher a évaporé 6 livres d'eau, poids médicinal, de chacune des cinq sources analysées par lui, et il a obtenu de 1000 parties d'eau, 5,55 parties solides, qui par l'analyse chimique ont donné :

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,52 p. |
| Carbonate de soude, | 1,54 |
| Muriate de soude, | 0,87 |
| Carbonate de chaux, | 0,56 |
| Oxide de fer, | 0,06 |
| | 5,55 (1). |

La méthode dont Becher se servit dans son analyse était en peu de mots la suivante : il évapora l'eau à une chaleur douce, pesa le résidu et le fit dissoudre dans de

(1) Becher donne le résultat en drachmes et grains ; pour plus de commodité dans la comparaison, je l'ai calculé en décimales. Les nombres cités se rapportent à son analyse des eaux du Sprudel.

l'eau. Il prit ce qui ne s'était pas dissous pour du carbonate de chaux; il observa cependant que l'acide nitrique laissait un résidu gris insoluble, qu'il essaya vainement de vitrifier avec la potasse. Il crut, à cause de cela, que ce résidu était de l'alumine; mais il ne s'en occupa plus, parce qu'il ne le crut pas digne d'une attention particulière à cause de sa petite quantité. On voit que Becher n'a pas négligé la silice, quoiqu'il ne réussît pas à la reconnaître. Ayant essayé en vain de séparer, par la cristallisation, les sels dissous dans l'eau, il choisit le moyen suivant : la dissolution fut mêlée avec du sirop de violette, qu'elle teignit en vert; le liquide fut neutralisé alors avec de l'acide sulfurique, jusqu'à ce que le sirop de violette reprît sa première couleur, et le poids de l'acide sulfurique qui était nécessaire fût déterminé. Comme il avait reconnu, par un autre essai, la quantité de carbonate de soude qui sature un poids donné d'acide sulfurique, ce procédé lui donna la quantité de ce sel contenue dans les eaux de Carlsbad. Il ne pouvait plus employer ce qui restait, à cause du sirop de violette ajouté; il évapora, pour cela, de nouveau, une quantité d'eau égale, satura son alcali avec la quantité d'acide sulfurique déjà connue, et l'abandonna à l'évaporation : des cristaux de sulfate et de muriate de soude se montrèrent bientôt; les premiers se transformèrent par l'efflorescence en une poudre qu'il put séparer, en tamisant, du sel marin qui resta sur le tamis. Ce moyen fait honneur à son esprit, mais n'a pas l'exactitude que nous sommes en droit de demander à présent. Becher détermina la quantité de fer en opérant sur une portion d'eau, dont il avait saturé

l'alcali libre par un acide, en ajoutant ensuite du prussiate de potasse, et en rassemblant et pesant le bleu de Prusse formé.

La quantité d'acide carbonique contenue dans les eaux de Carlsbad a été trouvée par Becher à l'aide du procédé dont on se sert encore à présent, et, à ce qu'il paraît, avec beaucoup de précaution. Mais comme il n'a pas eu égard à la quantité d'air qui se trouvait sur l'eau dans le vase qui servit à l'échauffer, son résultat devait être trop petit. Il obtint d'un volume d'eau égal à un, de 0,3 à 0,55 de gaz carbonique : le premier résultat a été donné par le Theresienbrunnen, le dernier par le Schlossbrunnen, qui cessa de couler lorsque, il y a quelques années, le réservoir du Sprudel se rompit. L'eau du Sprudel lui donna 0,39 de son volume de gaz carbonique.

Les températures des eaux de Carlsbad étaient, d'après les observations du docteur Becher, exprimées en parties de l'échelle du thermomètre centésimal, les suivantes : au Sprudel, dans le bassin, $73^\circ \frac{3}{4}$; au Neubrunnen, $62^\circ \frac{1}{2}$; au Mühlbrunnen et au Theresienbrunnen, $56^\circ \frac{1}{4}$; au Schlossbrunnen, $50^\circ \frac{2}{3}$.

Environ vingt ans plus tard, le célèbre Klaproth analysa les eaux de Carlsbad (1) pendant son séjour dans ces bains en juillet 1789. Il fut aidé dans ses expériences par le comte de Gessler. Son résultat fut, en général, le même que celui que Becher avait trouvé, savoir :

---

(1) *Chemische Untersuchung der Mineralquellen zu Carlsbad* dans *Beitrage zur chemischen Kenntniss der Mineralkorper;* par M. *H. Klaproth*, B. 1, S. 322-354.

que 1000 parties, en poids, d'eau contiennent, 5,478 parties solides, qui sont composées de :

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,431 p. |
| Carbonate de soude, | 1,345 |
| Muriate de soude, | 1,198 |
| Carbonate de chaux, | 0,414 |
| Silice, | 0,086 |
| Oxide de fer, | 0,004 |
| | 5,478. |

Il obtint ce résultat en opérant sur les eaux du Sprudel. Les analyses des eaux du Schlossbrunnen et du Neubrunnen ne s'en éloignent pas beaucoup.

Klaproth suivit la méthode suivante : il évapora 100 pouces cubiques d'eau (29000 grains, poids méd.), jusqu'à ce qu'il n'en restât que quelques onces ; il filtra et lava le dépôt. Ce qui était dissous dans l'eau fut saturé, aussi exactement que possible, avec de l'acide sulfurique d'une force connue, et le poids de la soude fut calculé d'après la quantité nécessaire d'acide. Klaproth précipita le liquide neutre avec de l'acétate de baryte, et après avoir séparé le précipité, il y versa du nitrate d'argent. D'après le poids des précipités, il calcula la quantité de muriate et de sulfate de soude, après avoir soustrait du dernier ce qu'il s'en était formé par la saturation de l'alcali. Il faut cependant remarquer qu'on ne peut pas atteindre exactement la saturation avec l'acide sulfurique ; la grande quantité de liquide empêche d'apercevoir la réaction d'un petit excès, et cela peut produire une erreur sensible quand on pèse la masse

sèche. L'acide muriatique est précipité, par le nitrate d'argent, du liquide saturé d'acide acétique; mais Klaproth ne dit pas qu'il ait ajouté un excès d'acide suffisant, et pourtant ce n'est qu'ainsi qu'on peut empêcher qu'une partie de l'acétate d'argent ne se précipite avec le muriate d'argent, et n'augmente sa quantité. — Klaproth dissolvait les terres insolubles dans l'eau, dans de l'acide muriatique, filtrait pour séparer la silice, mêlait le liquide avec le prussiate de potasse pour en séparer le fer, et précipitait alors la chaux par le carbonate d'ammoniaque. Il a abandonné lui-même, depuis, l'emploi du prussiate de potasse dans des expériences de ce genre, et s'il n'eût pas omis de déterminer le poids du carbonate de chaux précipité par le carbonate d'ammoniaque, il aurait reconnu, d'après la grande perte, qu'une partie considérable de magnésie était restée dans le liquide. Sans avoir égard à cela, il se contenta de soustraire du poids de la terre obtenue celui de la silice et de l'oxide de fer; mais de cette manière la présence de la magnésie lui échappa tout-à-fait.

Quoique Klaproth eût mis beaucoup de soin à la détermination exacte de la quantité du gaz carbonique contenue dans cette eau, il en obtint cependant moins que Becher, vraisemblablement, ainsi qu'il le croyait lui-même, parce que, n'ayant pas un appareil à mercure, il fut obligé de se servir, pour contenir le gaz, de l'eau du Sprudel. Cette eau lui donna seulement 0,32 de son volume de gaz carbonique, c'est-à-dire, 0,07 moins que Becher.

Le troisième expérimentateur qui ait examiné chimiquement les eaux de Carlsbad, est le docteur Reuss de Bilin. Lorsque le réservoir du Sprudel se rompit brus-

quement le 2 septembre 1809, l'opinion se répandit que les eaux de Carlsbad avaient pris une autre direction, et que celles qui sortaient alors ne jouissaient plus des mêmes propriétés médicinales. Le Gouvernement de la Bohême ordonna, à cause de cela, une nouvelle analyse de ces eaux, et en chargea le Dr Reuss de Bilin, qui était déjà antérieurement connu par des recherches intéressantes sur les eaux minérales de Bohême. J'ignore si M. Reuss a décrit quelque part ses expériences; je ne connais ce travail que par l'*Oberpostamts-Zeitung* de Prag, du 16 mars 1812, dans lequel M. Reuss, après avoir comparé ses résultats avec ceux de Klaproth, tirait de l'accord des deux, la conclusion que les eaux de Carlsbad n'avaient pas changé de nature. M. Reuss a examiné le Sprudel, le Neubrunnen, le Muhlbrunnen, le Bernhardsbrunnen et le Theresienbrunnen. Les résultats qu'il a obtenus sont cependant assez différens dans les quantités relatives des parties constituantes. Ainsi, par exemple, le Theresienbrunnen lui avait donné, pour 100 pouces cubiques d'eau, 59 grains de sulfate de soude; le Neubrunnen, 68, et le Sprudel, 69 grains: ce qui n'est d'accord ni avec les expériences de Becher, ni avec les miennes.

Le Dr Reuss a donné, dans un travail plus récent (1), les parties constituantes de ces eaux un peu autrement; mais encore avec des différences notables. Voici le résultat de l'analyse du Sprudel:

---

(1) *Das Marienbad bei Auschowitz auf der Herrschaft Tepel physikalisch-chemisch und medizinisch gepruft von* J. A. Reuss. *Prag.*, 1818. *S.* 120.

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,405 p. |
| Carbonate de soude, | 1,302 |
| Muriate de soude, | 1,163 |
| Carbonate de chaux, | 0,447 |
| Carbonate de fer, | 0,004 |
| Silice, | 0,080 |
| | 5,401. |

Quant au gaz carbonique, M. Reuss en trouva dans l'eau du Sprudel, 0,4475 parties du volume.

Il pourrait sembler, d'après la concordance des résultats analytiques de Becher, de Klaproth et du docteur Reuss, qu'on n'avait pas besoin d'un quatrième examen de la composition des eaux de Carlsbad, et qu'une nouvelle analyse ne compenserait pas, par son intérêt, la peine du travail. Lorsque cependant je m'arrêtai, l'été passé (1822) à Carlsbad, et lorsque je me servis de ces eaux avec profit pour ma santé, les phénomènes physiques remarquables qu'elles offrent, et que j'avais occasion d'étudier de plus près, excitèrent mon attention; en même temps plusieurs personnes, dont j'ai à cœur de satisfaire les désirs, me priaient d'analyser de nouveau les eaux des diverses sources. C'est là ce qui a donné lieu au présent Mémoire.

La courte description suivante augmentera l'intérêt de l'examen analytique pour ceux qui n'ont pas été à Carlsbad, ou qui ne connaissent d'aucune manière les particularités remarquables du pays où ces sources naissent.

Les bains célèbres de l'empereur Charles sont situés

dans une vallée étroite et profonde, peu éloignée de l'endroit où celle-ci s'ouvre dans la vallée de la rivière Eger. Un ruisseau, nommé le *Tepel*, coule au milieu de cette vallée étroite; sur ses deux rives, les sources chaudes sourdent à de petites distances les unes des autres. Leur nombre est très-grand; les baigneurs ne font cependant usage que des suivantes : le Sprudel, la source de l'Hygiaa, le Muhlbrunnen, le Neubrunnen, le Theresienbrunnen, le Bernhardsbrunnen, et plus rarement, le Spitalsbrunnen. Les eaux sourdent par les ouvertures d'une pierre calcaire, où l'on a mis des conduits artificiels à travers lesquels les eaux sont poussées jusqu'à une certaine hauteur par la pression de la masse inférieure, d'une manière commode pour les baigneurs. Ce calcaire est formé par les eaux elles-mêmes : partout où elles coulent, et à mesure que le gaz carbonique se dégage, des masses concrétionnées (*sinter*) d'une texture fibreuse se déposent.

Cette croûte de calcaire fut brisée par l'eau au commencement du siècle dernier (dans les années 1713 et 1727), et l'eau chaude se répandit immédiatement dans le Tepel. On résolut alors, tant pour savoir la cause de ce changement, que pour découvrir les moyens d'empêcher des ruptures semblables, de percer ce calcaire, et de voir à cette occasion d'où les eaux venaient (1). A peine eut-on percé la croûte supérieure, que l'eau sortit avec force, et que l'on vit plusieurs cavités plus ou moins grandes remplies d'eau, dont le fond était également une croûte de calcaire. On perça aussi

(1) Becher, l. c., pag. 132.

celle-là et l'on découvrit sous elle des cavités semblables, d'où l'eau sortit avec une force plus grande encore, et dont le fond consistait en une troisième croûte de calcaire. Lorsqu'on eut percé à son tour cette dernière croûte, on découvrit un grand réservoir d'eau, qui a reçu le nom de *chaudron du Sprudel* (*Sprudelkessel*). Les croûtes de carbonate de chaux avaient toutes une épaisseur de 1 à 2 pieds, et consistaient en une pierre, couleur blanc d'albâtre et à bandes brunes, à laquelle on a donné le nom de *pierre de Sprudel* (*Sprudelstein*). Les trois couches ne sont pas placées concentriquement l'une sur l'autre: elles forment des espaces inégaux séparés par des parois, comme si on plaçait des vases hémisphériques plus ou moins grands, renversés les uns sur les autres. L'eau était en ébullition violente dans le bassin. Les vapeurs épaisses et chaudes qui sortaient en abondance ne permirent pas de connaître exactement l'étendue du réservoir. Il avait, suivant l'inégalité du fond, une profondeur de 3 à 4 aunes, comptée de la surface extérieure du calcaire; dans une certaine direction on ne pouvait pas atteindre les limites avec des bâtons liés l'un à l'autre, et formant une longueur de 30 lachter. Cette direction, qui se porte vers le lieu nommé *Hirschenstein*, paraît être celle par laquelle l'eau afflue. Une circonstance qui prouve la grandeur considérable du Sprudelkessel est que l'on atteint la croûte du Sprudel si l'on creuse suffisamment dans la plus grande partie de la petite ville de Carlsbad; et quand on perce cette croûte, l'eau chaude monte avec violence. Le gaz carbonique s'élève, de plusieurs endroits, à travers les fentes de cette croûte, en telle quantité, que les caves des maisons en sont remplies, et que dans le Tepel, qui coule

immédiatement sur cette croûte, on voit, sur une grande longueur, principalement dans les environs du Sprudel, le gaz monter en bulles au milieu de l'eau. On ferma alors l'ouverture qu'on avait faite, par de la maçonnerie, dont les joints furent bientôt couverts par du sprudelstein. Elle retient encore à présent l'eau dans le chaudron, et la force de monter par les canaux ordinaires, et de s'écouler de leurs embouchures. Ces embouchures se ferment cependant peu à peu par le sprudelstein (pierre du Sprudel), qui se dépose aussi dans les canaux, et cela si promptement qu'on est obligé de les percer quatre fois par an.

Ce qu'on nomme le Sprudel n'est proprement qu'une certaine ouverture du bassin-chaudron, par laquelle l'eau est poussée par intervalles, car l'air et l'eau s'écoulent alternativement. Les parties supérieures du chaudron se remplissent de gaz carbonique, qui se dégage de l'eau chaude en quantité d'autant plus grande que la pression que ce liquide supporte diminue davantage quand il arrive à la surface de la terre. Le gaz dégagé se rassemble dans la partie supérieure de la cavité, et quand sa quantité est suffisamment augmentée, elle comprime tellement la surface de l'eau qu'il peut s'échapper par les mêmes canaux: l'eau et le gaz sortent alors alternativement de dix-huit à dix-neuf fois par minute. Il y a encore plusieurs ouvertures de la couverture du Sprudel à peu de distance de l'endroit d'où cette source provient : elles donnent en partie plus d'eau que le Sprudel; mais elles coulent continuellement. Une d'elles, qui n'a pris naissance que depuis quelques années, et que l'on a nommée *le nouveau Sprudel* ou *la source de Frygiaca*, est em-

ployée par les baigneurs de la même manière que le Sprudel ; les autres sont bouchées.

On eut la bonté d'ouvrir pour moi, non-seulement celles-ci, mais aussi une ouverture plus grande qu'on avait faite dans la croûte du Sprudel, au bord ou plutôt dans le lit du Tepel, pour procurer à l'eau chaude un passage suffisant dans les cas d'affluence extraordinaire (comme cela arrive quelquefois), sans être forcé de faire de nouvelles ouvertures dans l'écorce du Sprudel. Le Sprudel cessa aussitôt de donner de l'eau ; il ne sortit que du gaz carbonique par l'ouverture ; l'eau chaude coula seulement par les ouvertures plus basses. Je m'étonnais cependant que les autres ouvertures continuassent à donner de l'eau (quoiqu'en quantité un peu plus petite), malgré qu'elles fussent situées au moins 3 pieds plus haut que l'ouverture dans le Tepel. Cette circonstance prouve que les différens réservoirs d'eau ne communiquent entre eux que par des canaux très-étroits, et que la pression de la veine principale à l'endroit où elle se divise, est si forte qu'un écoulement plus facile de l'une des branches n'occasione pas de changemens considérables dans l'affluence vers les autres branches (1).

(1) C'est seulement de cette manière que l'on peut expliquer comment l'eau chaude de Carlsbad s'écoule de hauteurs si différentes. On aperçoit cela principalement dans le Bernhardsbrunnen, Neubrunnen et Theresienbrunnen : ils sont situés l'un sur l'autre presque dans la même ligne verticale. On y peut observer aussi très-bien comment la température de l'eau qui s'écoule diminue avec la situation plus haute de l'ouverture.

La distance du Sprudel, qui cessa de couler, à l'ouverture la plus proche qui continua de couler, n'est que de quelques aunes.

La quantité d'eau chaude qui s'écoule à Carlsbad est étonnante. On a fait plusieurs essais pour la mesurer; ils ont tous été cependant si indirects, qu'aucun des résultats ne peut être regardé comme sûr (1).

Une eau qui possède des propriétés aussi particulières est faite pour attirer la curiosité de l'observateur de la nature. J'ai déjà dit que ces propriétés ont beaucoup contribué à me déterminer à en faire l'analyse.

### *Nouvelle analyse des eaux de Carlsbad.*

J'ai recueilli l'eau du Sprudel employée pour cette analyse, dans des bouteilles qui étaient munies de bouchons de verre usés à l'émeri, pour ne pas diminuer par des liéges ordinaires la petite quantité de fer que l'eau contient. Un ami m'envoya après de Carlsbad, l'eau de la source de l'Hygiaa, du Muhlbrunnen, du Neubrunnen, du Theresienbrunnen, du Bernhardsbrunnen et du Spitalsbrunnen, dans des bouteilles bouchées par des liéges goudronnés. L'analyse principale fut faite avec l'eau du Sprudel; j'ai analysé les eaux

(1) D'après une mesure faite en novembre 1811 par MM. les Drs Reuss, Fuhrmann, Daum et Mitterbacher, les seules ouvertures du Sprudel et la source de l'Hygiaa donnaient en vingt-quatre heures 111292 seaux ou 192 $\frac{2}{3}$ millions de pieds cubiques d'eau. (*Voy.* les Bains de l'empereur Charles, par Stohr, 1822.)

des autres sources que j'ai reçues plus tard, d'après le même plan.

Je prévoyais que si je voulais, par mon travail, ajouter quelque chose de nouveau à ceux de mes prédécesseurs, cela ne pouvait concerner que des substances auxquelles on ne dût pas songer dans le temps où les anciennes analyses furent faites, ou qui étaient contenues dans l'eau en quantités si petites qu'elles n'ont pu être découvertes par les réactifs employés. L'établissement du Dr Becher, pour la préparation du sel de Carlsbad, me devint très-utile. Je pouvais m'y procurer, en quantité suffisante, tant les sels que les eaux de Carlsbad contiennent, que l'eau-mère et les substances qui se précipitent pendant l'évaporation, pour chercher dans ces matériaux des parties qui n'y existent qu'en très-petites quantités. Il faut que je nomme à cette occasion, avec remercîment, M. le Dr Braun de Toachimsthal et M. le Dr Poschmann, par les soins desquels je reçus tout ce qu'il me fallait pour cet effet.

L'eau de Carlsbad est claire et incolore; récemment puisée, elle a le goût du bouillon; mais elle manifeste quelque temps après une saveur alcaline très-désagréable. Elle n'a pas d'odeur, et on ne peut pas y reconnaître, avec les réactifs, la moindre trace d'hydrogène sulfuré. Quand on l'a conservée long-temps dans des vases clos, elle dépose un très-faible précipité d'une couleur jaunâtre, qui est produit évidemment par l'oxide de fer. La pesanteur spécifique de l'eau est, à 18° c., 1004,975. J'ai pesé l'eau du Sprudel, de la source de l'Hygiea, du Muhlbrunnen, Neubrunnen, Theresienbrunnen, Bern-

hardsbrunnen, et Spitalsbrunnen : elles ont toutes parfaitement la même pesanteur spécifique. Selon Becher, elle est 1008 ; ce qui provient probablement de ce qu'il n'avait que des moyens imparfaits pour la déterminer exactement.

### *Analyse de l'Eau du Sprudel.*

625,4 grammes de l'eau du Sprudel, ou 34 pouces cubiques de Vienne, mesurés à une température de + 18° c. furent évaporés jusqu'à ce que le sel fût sur le point de cristalliser. Après que le liquide eut été séparé par le filtre de ce qui s'était déposé, les terres qui se trouvèrent sur le filtre, pesé d'avance, furent séchées fortement, et pesées avec le filtre dans un creuset de platine couvert, pour éviter toute l'humidité hygroscopique pendant qu'on les pesait. Leur poids se trouva de 0,324 gr. Le liquide fut évaporé dans un creuset de platine pesé; il fut séché lentement, et la masse séchée fut chauffée après jusqu'à ce qu'elle commençât à fondre, ce qui arriva avant que le creuset parût rouge au jour. Le sel fondu pesa 3,058 gr. L'eau du Sprudel contient donc :

| | dans 625,4 gr. | Par conséquent dans 1000 gr. |
|---|---|---|
| Sels solubles, | 3,058 | 4,890 |
| Terres, | 0,324 | 0,518 |
| Parties solides, | 3,382 | 5,408. |

Ce résultat est intermédiaire entre ceux que Klaproth et Reuss avaient trouvés. Il est vrai que j'obtins des résultats différens dans plusieurs essais pour lesquels l'eau fut pesée et évaporée à siccité dans un creuset de platine

pesé, et la masse fortement chauffée; ils étaient cependant tous entre 5,407 et 5,476 pour 1000 parties de l'eau. Cette différence provient très-probablement de la quantité inégale du gaz carbonique qui se sépare de la magnésie par la chaleur.

A. *Sels solubles dans l'eau.*

Après que je me fus convaincu par des essais dont je parlerai plus bas, que ces sels ne contiennent pas d'autre base que la soude, et pas d'autres acides que les acides sulfurique, muriatique et carbonique, ils furent fondus et analysés de cette manière : je les fis dissoudre dans l'eau; la dissolution était louche, et laissa sur le filtre, de la magnésie, qui pesa, rougie au feu, 0,006 gr. Je saturai le liquide filtré avec de l'acide acétique, et l'évaporai à siccité pour voir si l'alcali ne retenait pas une partie de la silice : la masse se dissolvait cependant toute entière parfaitement. La dissolution, précipitée par le nitrate de baryte, donna du sulfate de baryte, qui pesa, lavé et rougi, 2,646 gr.; ce qui répond à 1,618 gr. de sulfate de soude. J'acidulai alors beaucoup le liquide filtré avec de l'acide nitrique, et le précipitai par le nitrate d'argent, et j'obtins 1,58 gr. de muriate d'argent. Comme on pouvait soupçonner qu'une partie de l'acide muriatique était perdue par le traitement avec l'acide acétique, je pesai de nouveau 625,47 gr. de l'eau; j'y mis de l'acide nitrique en excès, et je la précipitai avec du nitrate d'argent : j'obtins 1,588 gr. de muriate d'argent. Ce poids est un peu plus grand que le premier, et cela beaucoup plutôt, probablement, parce qu'on ne peut pas éviter, dans cet essai, d'éprouver une perte, que parce

qu'une partie du sel muriatique est décomposée par l'acide acétique. Les 1,588 gr. correspondent à 0,6495 gr. de muriate de soude. Le reste du poids de la masse saline fondue est le carbonate de soude; son poids est par conséquent 0,7845 gr.

*B.* Pour les sels insolubles dans l'eau, je les fis digérer dans une capsule de platine avec de l'acide nitrique: ils se dissolvirent avec effervescence. Pour éviter toute perte, j'ai la coutume de couvrir le vase, pendant la dissolution et pendant le commencement de l'évaporation, avec un verre de montre, dont le côté convexe est tourné en bas. Alors ce qui s'attache au verre tombe de son centre, et le verre est lavé pendant l'évaporation par les vapeurs qui se condensent. Je laissai cette fois le verre jusqu'à ce que la masse fût devenue sèche dans la capsule; et lorsque je l'ôtai, j'observai que la paroi inférieure était en partie mate, et qu'on pouvait reconnaître les circonférences des gouttes qui s'y étaient formées pendant l'évaporation. Comme je m'étais servi de verre, même très-souvent, pour un but semblable, il était évident qu'il s'était dégagé de l'acide fluorique dans la dernière expérience. J'humectai la masse sèche dans la capsule de platine avec de l'acide nitrique; je la chauffai, et je la fis dissoudre dans de l'eau. Il y resta de la silice d'un gris foncé, qui devint blanche après qu'on l'eut fait rougir, et qui pesa 0,044 gr.

Le liquide séparé de la silice fut mêlé avec de l'ammoniaque, qui donna un précipité jaunâtre très-faible. Ce précipité, rougi, pesa 0,004 gr.; il ressemblait à l'oxide de fer. Comme l'acide fluorique est accompagné presque toujours, dans les minéraux, par l'acide phospho-

rique, j'examinai ce fer par le chalumeau, et j'obtins de cette manière un grain fondu de phosphure de fer. Nous trouverons plus bas que cet oxide de fer contenait encore de la silice, de l'alumine et de l'oxide de manganèse.

J'ajoutai au liquide, que j'avais précipité par l'ammoniaque, de l'oxalate d'ammoniaque tant qu'il se fit un précipité. Je chauffai l'oxalate de chaux obtenu; je l'humectai avec du carbonate d'ammoniaque, et je le chauffai de nouveau jusqu'à ce qu'il commençât à rougir : il donna de cette manière 0,195 gr. de carbonate de chaux. Je le fis dissoudre dans l'acide nitrique; j'évaporai la dissolution en une masse sèche, et je dissolvis le sel dans de l'alcool dont la pesanteur spécifique était 0,793. Il resta une substance d'un brun foncé qui, après avoir été bien lavée avec de l'alcool, fut dissoute presqu'entièrement par l'eau. La dissolution fut précipitée par l'oxalate d'ammoniaque; le précipité donna, après avoir été rougi, du carbonate de strontiane, mais en trop petite quantité pour pouvoir être pesé. Je ne l'aurais pas reconnu avec certitude pour de la strontiane, si je n'eusse pas réussi à l'obtenir d'une autre manière en quantité plus grande. Ce qui n'était pas dissous dans l'eau était de l'oxide de manganèse, mais aussi en trop petite quantité pour pouvoir être pesé.

J'évaporai le liquide précipité par l'oxalate d'ammoniaque jusqu'à siccité; je fis rougir le résidu, et j'obtins une terre blanche qui pesa 0,054 gr. L'eau en dissolvait 0,005 gr. d'un carbonate alcalin, qui n'attaqua pas le creuset à la chaleur rouge; qui ne donna pas, avec le muriate de platine, un précipité difficile à dis-

soudre, et qui était par conséquent de la soude. Il paraît que cette soude s'était combinée, pendant l'évaporation, avec la silice, la magnésie, ou avec la chaux, et avait formé un composé difficile à dissoudre, et qui n'est décomposé de nouveau que par l'acide nitrique.

Lorsque je fis dissoudre les 0,045 gr. de magnésie qui étaient restés dans l'acide nitrique, il se sépara de la silice, salie par une trace d'oxide de manganèse. La silice pesa 0,002 gr.; il ne resta donc pour la magnésie que 0,048 gr.

Mon analyse m'a donné, par conséquent, sur 34 pouces cubiques de Vienne ou sur 625,4 gr. de l'eau du Sprudel :

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude, | 1,618 gr. |
| Carbonate de soude, | 0,790 |
| Muriate de soude, | 0,649 |
| Carbonate de chaux, | 0,195 |
| Magnésie pure, | 0,054 |
| Oxide de fer, | 0,004 |
| Silice, | 0,046 |
| | 3,356. |

La cause pour laquelle la somme 3,356 est plus petite que 3,382 gr., poids des parties solides contenues dans la quantité que j'avais prise de l'eau du Sprudel, c'est, d'une part, qu'on ne peut jamais éviter une perte, et de l'autre, que la magnésie est prise ici libre de tout acide carbonique.

Etudions de plus près les substances inattendues dont cette analyse nous a découvert la présence dans l'eau du Sprudel, et qui, quoiqu'elles n'y soient con-

tenues qu'en très-petites proportions, comparativement aux autres sels, ne méritent pas moins cependant d'être séparées avec plus d'exactitude, et d'être déterminées en quantité.

*Proportion et état de combinaison des acides fluorique et phosphorique.*

Pour déterminer avec plus de certitude si l'acide fluorique est en effet une partie constituante des eaux de Carlsbad, je pulvérisai la pierre du Sprudel (le sprudelstein) telle qu'elle se dépose dans les chaudières dans lesquelles on évapore les eaux. Je la fis digérer dans un creuset de platine avec de l'acide sulfurique concentré, et je couvris le creuset avec un verre enduit de la cire sur laquelle j'avais tracé des figures. Lorsque j'ôtai le verre après une demi-heure, je le vis rongé par l'acide fluorique, dont l'odeur se répandit promptement.

J'ai essayé long-temps, mais sans succès, de trouver immédiatement l'acide fluorique dans les précipités qui se déposent quand on fait bouillir l'eau, principalement dans celui qu'on obtient quand on précipite les terres dissoutes dans l'acide nitrique ou muriatique avec de l'ammoniaque, et, à cet effet, je le lavai, je le chauffai et je le traitai avec de l'acide sulfurique. En analysant, cependant, ce résidu de l'eau, on trouve la silice dans un état extrêmement soluble, de sorte qu'on obtient alors des fluo-silicates qui sont tellement riches en silice, que l'acide fluorique se dégage à la chaleur rouge avec la silice. Lorsque je décomposai le précipité, qu'on n'avait pas encore fait rougir, avec de l'acide sulfurique, et lorsque je recueillis le gaz qui se dégagea, dans une disso-

lution de carbonate de soude, j'obtins la silice séparément de l'acide fluorique, qui pouvait être séparé à la manière ordinaire, c'est-à-dire, par un sel de chaux; mais la quantité était trop petite dans la masse de l'eau que je devais employer pour que je pusse déterminer son poids.

Le carbonate et le fluate de chaux se trouvent tous les deux dissous dans le gaz carbonique, comme nous le verrons plus bas; tous les deux se précipiteront, par conséquent, si cet agent de dissolution se dégage. On pouvait donc présumer que tous les deux étaient contenus dans la pierre du Sprudel, dans la même quantité relative que dans l'eau elle-même. Je recourus donc à ce dépôt calcaire, et je choisis pour cette analyse une pierre du Sprudel qui s'était déposée, dans le cours de l'année, dans la fabrique où le Dr Becher prépare les sels de Carlsbad. Cet établissement consiste en un bassin dans lequel on a mis un certain nombre de chaudières d'étain les unes très-près des autres, et qu'on remplit de l'eau du Sprudel. On fait passer continuellement cette eau à travers le bassin; les chaudières sont par conséquent dans une sorte de bain-marie, et on les y laisse jusqu'à ce que l'eau qu'elles contiennent soit tellement évaporée qu'elle commence à cristalliser. Une croûte de la pierre du Sprudel se dépose au côté extérieur de ces chaudrons, et devient peu à peu plus épaisse. Le morceau dont je me servis pour mes essais montrait, par sa forme, qu'il s'était déposé sous le fond d'une chaudière; il avait une épaisseur de 6 millimètres, et était d'un brun foncé sur le côté convexe ou extérieur. Cette couleur diminua peu à peu vers le côté concave, et elle

n'était que jaunâtre au côté intérieur, par lequel le morceau était fixé à l'étain. Sa cassure était cristalline, fibreuse, très-semblable à celle de l'arragonite; sa pesanteur spécifique était 2,84, ce qui s'approche aussi beaucoup de celle de l'arragonite.

Pour trouver si la pierre du Sprudel représente en effet ce qui se dépose de l'eau par le dégagement de l'acide carbonique, je mêlai l'eau de la source avec l'ammoniaque caustique; elle se troubla bientôt, et avait déposé, après vingt-quatre heures, un précipité granuleux, un peu jaunâtre : lorsque je l'évaporai après l'avoir filtrée, il se déposa encore une terre blanche. Le premier dépôt contenait du carbonate de chaux et de l'oxide de fer, mais pas de magnésie; le dernier était dissous par les acides, sans effervescence; il laissa de la silice en gelée, et donna une dissolution qui contenait de la magnésie, et qui n'était pas troublée du tout par l'oxalate d'ammoniaque : le phosphate d'ammoniaque précipitait cependant le sel double connu de magnésie. Il est donc prouvé que les substances dissoutes dans l'acide carbonique cristallisent, lorsque celui-ci se dégage, sans que la diminution du liquide soit nécessaire, et que la magnésie et la silice ne se déposent que pendant l'évaporation de l'eau; que la magnésie se dépose, dans cette expérience, à l'état de silicate, ce qui est produit sans doute par la présence de l'ammoniaque.

Les parties constituantes de la pierre du Sprudel peuvent nous donner par conséquent le carbonate de chaux et l'oxide de fer trouvés dans l'analyse, et il sera possible de déterminer, en opérant sur une plus grande quantité de pierre, les proportions relatives des acides

fluorique et phosphorique, de l'oxide de fer, de la strontiane et du carbonate de chaux.

*a.* Je broyai la pierre du Sprudel mentionnée en une poudre très-fine; je la mis plusieurs fois en ébullition avec de l'eau distillée, pour séparer tous les sels qui provenaient de l'eau, et je la séchai soigneusement pour éloigner toute l'humidité. Je fis dissoudre une portion de cette poudre dans un creuset de platine, dans de l'acide muriatique étendu d'eau; il resta de l'oxide de fer qui se dissolvit de nouveau en échauffant le liquide. Lorsque tout le gaz carbonique fut volatilisé, je filtrai la dissolution, qui était un peu colorée. Elle laissa 0,001 grammes d'une poudre grise qui, éprouvée par le chalumeau sur une feuille de platine avec le carbonate de soude, se comporta comme de l'oxide de manganèse, et qui donna sur le charbon un globule d'étain.

*b.* Je précipitai le liquide filtré, dans un vase bien fermé, avec de l'ammoniaque caustique : il donna un précipité un peu jaunâtre, qui devint brun lorsqu'il fut sec et qui pesa 0,157 gr. On le décomposa de la manière suivante : étant mis dans un creuset de platine et digéré avec de l'acide sulfurique, il se dégagea, après quelques minutes, de l'acide fluorique, qui attaqua profondément un verre couvert de cire et écrit. Comme le gaz ne se développa pas de suite et avec effervescence, il est vraisemblable que le précipité ne contenait pas de silice. Lorsque l'acide fluorique fut chassé, on dissolvit le résidu acide dans de l'eau bouillante, qui fut ajoutée en telle quantité que le gypse resta dissous. L'ammoniaque caustique fit dans le liquide un précipité jaune, semblable à l'oxide de fer, et qui pesa, rougi, 0,06 gr.

*c.* Lorsque je mêlai alors le liquide avec de l'oxalate d'ammoniaque, j'obtins un précipité qui me donna, après que l'acide oxalique eut été brûlé, 0,127 gr. de carbonate de chaux, qui correspondent à 0,099 gr. de fluate de chaux.

*d.* Je fis dissoudre l'oxide de fer de *b* dans l'acide muriatique : il laissa un résidu blanc de 0,001 gr., qui, placé avec la soude sur un charbon, se réduisit par le chalumeau en un globule d'étain, provenant, comme celui que j'avais obtenu auparavant, de la chaudière sur laquelle la pierre du Sprudel s'était déposée. Je mêlai le liquide filtré avec le muriate d'ammoniaque (1), jusqu'à ce qu'il en fût presque saturé ; je le précipitai alors avec le prussiate de potasse : tout le fer fut précipité ; je le filtrai et je lavai le précipité avec une dissolution de muriate d'ammoniaque. De l'ammoniaque caustique produisit dans le liquide filtré un précipité blanc floconneux qui pesa, rougi, 0,015 gr. Ce précipité ayant été dissous dans l'acide muriatique, de la potasse caustique qui y fut mise en excès, précipita 0,004 gr. de phosphate de chaux. Après avoir saturé le liquide avec de l'acide muriatique, je précipitai ce qui était dissous dans la potasse avec l'ammoniaque : le précipité était blanc ; il devint cependant, en séchant, d'un faible jaune de succin. Il passa avec du cobalt au bleu foncé, mais impur ;

(1) J'ajoutai du muriate d'ammoniaque parce qu'une partie considérable du précipité bleu reste dissoute dans une dissolution qui contient du prussiate de potasse en excès : on empêche cet effet en ajoutant du muriate d'ammoniaque.

avec du carbonate de soude, sur du platine, il agit comme le manganèse; et avec du fer et de l'acide borique, il donna un globule fondu de phosphure de fer: c'était donc du phosphate d'alumine avec excès de base, mêlé de phosphate de manganèse. L'eau de chaux versée dans le liquide, d'où l'alumine avait été précipitée, donna, après que tout l'acide carbonique eut été chassé, 0,003 gr. de phosphate de chaux, dont l'acide phosphorique (0,00135 en poids) avait été combiné avec l'oxide de fer. Si on les soustrait, avec le poids des autres substances obtenues en *d*, des 0,06 gr. de *b*, il reste pour l'oxide de fer 0,0426 gr. Quand on additionne les poids obtenus de ces différentes substances, on retrouve la quantité analysée : c'est une preuve de plus que l'acide fluorique était combiné avec la chaux et non avec la silice, puisqu'on aurait eu, dans le cas contraire, une perte considérable; car le fluosilicate de chaux, qui est précipité par l'ammoniaque, contient beaucoup moins de chaux que le fluate de chaux.

*e*. J'ai chauffé une autre quantité de la pierre du Sprudel pulvérisée, jusqu'à une chaleur rouge, dans un petit appareil d'où les substances gazéiformes qui se dégagèrent furent conduites sur du muriate de chaux fondu. Elle perdit par cette opération 2,39 p. c. en poids, dont 1,59 était de l'eau, et 0,8 de l'acide carbonique. Quand on soustrait les premiers 1,59 p. c. de ce qui n'est pas précipité par l'ammoniaque pure de la pierre du Sprudel dissoute, on trouve la quantité de carbonate de chaux qu'elle contient : on trouve ainsi 96,77 p. c. de carbonate de chaux combinés avec 0,06 p. c. de phosphate de chaux, 0,99 p. c. de fluate

de chaux et 0,1 p. c. de phosphate d'alumine. Je mets de côté l'oxide d'étain puisqu'il ne provient pas de l'eau, et de même l'oxide de fer, que la pierre du Sprudel ne peut pas contenir toujours dans les mêmes proportions relativement aux autres parties constituantes de l'eau. Sa précipitation dépend plutôt du contact de l'air que du dégagement de l'acide carbonique, et c'est dans cette inégalité de la quantité de fer que les bandes brunes de la pierre du Sprudel prennent leur origine.

La quantité de l'eau de Carlsbad que j'ai analysée devait contenir par conséquent, d'après ces données :

| | |
|---|---|
| Fluate de chaux, | 0,00200 gr. |
| Phosphate de chaux, | 0,00014 |
| Phosphate d'alumine, | 0,00020. |

De ce que la pierre du Sprudel ne contient pas de silice qui se dépose avec le fluate de chaux, on doit conclure en même temps que l'eau de Carlsbad ne peut pas renfermer un fluosilicate de chaux.

B. *Détermination de la quantité de Strontiane.*

J'ai obtenu cette détermination avec le liquide précipité par l'ammoniaque dans la précédente expérience. Ce liquide fut évaporé à siccité, et mêlé alors avec de l'acide nitrique en excès, pour dissoudre de nouveau le carbonate de chaux qui s'était déposé, parce que l'ammoniaque avait attiré de l'acide carbonique dans l'évaporation. Je détruisis le sel ammoniacal par la chaleur, et je dissolvis le nitrate de chaux, qui resta dans de l'alcool et qui laissa un petit résidu blanc. Après l'avoir bien lavé avec de l'alcool, il fut dissous dans l'eau et alors précipité avec de

l'oxalate d'ammoniaque. Le précipité fut recueilli et chauffé pour le changer en carbonate, qui pesa presque 0,03 gr. ou presque $\frac{1}{3}$ p. c. de la pierre du Sprudel. Je me convainquis de la manière suivante que c'était du carbonate de strontiane, et non pas un corps qui provînt du lavage du sel de chaux. Il donna avec l'acide muriatique un sel cristallisé en aiguilles qui ne tomba pas en déliquescence. Quand je le fis dissoudre dans l'alcool et que j'humectai avec ce liquide du coton que j'allumai, ce coton brûla avec une flamme rouge. Et enfin, ce qui me semble être le plus décisif, les cristaux se dissolvirent quand on les mit dans une dissolution de gypse saturée : celle-ci se troubla fortement, parce qu'il se forma du sulfate de strontiane qui est plus difficile à dissoudre ; et quand on y ajouta de l'acide muriatique, le liquide devint clair ; ce qui prouve que le précipité n'était pas du sulfate de baryte. Mais si 96,77 parties de carbonate de chaux contiennent 0,3 p. de carbonate de strontiane, 0,0006 grammes du dernier appartiennent alors à 0,195 grammes du premier. Ce résultat s'accorde parfaitement avec un essai qui avait été fait sur 4 gr. des terres insolubles des eaux de Carlsbad. Il faut cependant observer que ce que j'ai compté pour de la strontiane n'était pas tout-à-fait exempt de chaux, ce qui est d'ailleurs peu important, le poids n'étant pas, en soi-même, très-considérable.

C. *Quantité de l'Oxide de fer et de manganèse.*

Il suit déjà de l'analyse de la pierre du Sprudel, que les 0,004 gr. d'oxide de fer que j'ai cités dans l'énumération des parties constituantes de l'eau, n'étaient pas de

l'oxide de fer pur. Une partie est évidemment de la silice, une autre partie du phosphate d'alumine, du phosphate de manganèse et du phosphate de chaux. Pour pouvoir déterminer la quantité de fer avec plus d'exactitude, je fis dissoudre 4,107 gr. de la terre de l'eau de Carlsbad, qui avait été séchée à la chaleur rouge, dans de l'acide nitrique, et je précipitai la dissolution avec de l'ammoniaque caustique. Je séparai du précipité que je ne fis pas rougir, par de l'acide nitrique, de l'acide fluorique silicé, que je conduisis, pour le pouvoir doser, dans une dissolution de carbonate de soude. La dissolution dans l'acide sulfurique fut précipitée par de l'ammoniaque ; le liquide filtré ne contenait pas une trace de chaux; l'acide fluorique et la silice étaient donc combinés avec l'oxide de fer. Dans le premier précipité, la potasse caustique avec laquelle je le fis bouillir laissa un résidu de 0,02 gr. d'oxide de fer, et je pus séparer de la dissolution dans la potasse, de la manière ordinaire, 0,004 gr. de phosphate d'alumine, qui étaient mêlés avec un peu de phosphate de manganèse. L'oxide de fer ayant été dissous dans l'acide muriatique, et la dissolution précipitée avec le prussiate de potasse, il ne resta pas de phosphate de chaux dans le liquide; mais la lessive de potasse, de laquelle l'alumine avait été séparée, donnait, quand on y versait de l'eau de chaux, un précipité faible de phosphate de chaux.

Pour séparer la chaux de la dissolution de laquelle j'avais précipité l'oxide de fer et l'alumine, je la mêlai avec de l'oxalate d'ammoniaque ; j'obtins 2,314 gr. de carbonate de chaux. Quand on calcule la quantité de l'oxide de fer d'après la quantité de chaux, elle devient pour la

quantité d'eau analysée, 0,00155 gr. La quantité de phosphate d'alumine se trouve, dans cette expérience, plus grande que dans l'analyse de la pierre du Sprudel : ce sel n'était cependant pas tout-à-fait exempt de silice.

Nous avons obtenu, dans cette analyse, l'oxide de fer mêlé avec du phosphate de fer avec excès de base : cela ne prouve cependant pas que l'eau contenait un tel sel; mais c'est une suite de la propriété de l'oxide de fer, de se combiner toujours avec une certaine quantité d'acide phosphorique quand il est précipité d'un liquide qui contient de l'acide phosphorique, et de ne pouvoir être séparé complètement de cet acide, même par les acides les plus forts.

Pour déterminer la quantité de l'oxide de manganèse, je fis dissoudre les 2,514 gr. de carbonate de chaux obtenus, dans de l'acide nitrique; j'évaporai la dissolution en une masse entièrement sèche, et je traitai celle-ci avec de l'alcool. Il resta une substance brunâtre, que je lavai avec de l'alcool, et après, pour en séparer la strontiane, avec de l'eau qui était un peu acidulée. L'oxide de manganèse resta; il pesa, rougi, 0,004 gr. : ce qui fait sur 1,195 gr. de carbonate de chaux, 0,00035 gr.

La magnésie se trouvait dans le liquide qui avait été précipité par l'oxalate d'ammoniaque. Je le mêlai avec du prussiate de potasse; il devint un peu laiteux sans rien déposer cependant, même après plusieurs jours. La quantité de manganèse dans la magnésie était par conséquent trop petite pour qu'on puisse la séparer et la peser. Le manganèse existe aussi dans l'eau à l'état de carbonate; c'est à cause de cela qu'on ne le trouve pas dans la pierre du Sprudel, parce que le carbonate de

manganèse est presque aussi soluble dans l'eau que le carbonate de magnésie.

Le résultat de toutes ces expériences analytiques est le suivant. D'après mes analyses de l'eau du Sprudel, et d'après ce qui suit de l'analyse de la pierre du Sprudel,

| I. 625,41 gram. ou 34 pouc. cub. de Vienne de l'eau de Carlsbad contiennent, à une température de 18° c. : | | II. 1000 p. en poids de l'eau de Carlsbad, à une température de 18° c., contiennent : |
|---|---|---|
| Sulfate de soude, | 1,61800 | ............ 2,58713 |
| Carbonate de soude, | 0,78950 | ............ 1,26237 |
| Muriate de soude, | 0,64950 | ............ 1,03852 |
| Carbonate de chaux, | 0,19300 | ............ 0,30860 |
| Fluate de chaux, | 0,00200 | ............ 0,00320 |
| Phosphate de chaux, | 0,00014 | ............ 0,00022 |
| Carbonate de strontiane, | 0,00060 | ............ 0,00096 |
| Magnésie pure, | 0,05400 | ............ 0,17834 |
| Phosphate d'alumine à excès de base, | 0,00020 | ............ 0,00032 |
| Oxide de fer, | 0,00015 | ............ 0,00362 |
| Oxide de manganèse, | 0,00035 | ............ 0,00084 |
| Silice, | 0,04700 (1) | ............ 0,07515 |
| | 3,35444. | 5,45927. |

J'ai calculé les nombres de la seconde colonne d'après ceux de la première, pour qu'on puisse les comparer sans autre calcul avec les autres. La différence entre 5,408 p. que j'ai obtenues, en desséchant 1000 p. en poids de l'eau du Sprudel, et les 5,45927 qu'on trouve ici, provient de l'acide carbonique que j'ai ajouté à la magnésie et aux oxides métalliques.

Il ne faut pas s'imaginer que les expériences analy-

(1) J'y ai ajouté la silice qui se trouvait dans l'oxide de fer et dans le phosphate d'alumine.

tiques aient une exactitude correspondante aux parties décimales rapportées : c'est impossible. J'étais cependant obligé d'aller aussi loin pour pouvoir insérer dans la table les substances que l'eau renferme en si petites quantités qu'on ne peut les déterminer que par l'analyse de la pierre du Sprudel, et qu'on doit se borner à nommer relativement aux autres parties qui sont contenues en plus grandes quantités dans l'eau.

---

J'ai analysé de la même manière les eaux des trois autres sources de Carlsbad, qu'on m'avait envoyées, savoir, du Muhlbrunnen, du Neubrunnen et du Theresienbrunnen, et j'ai trouvé dans toutes les trois non seulement les mêmes parties constituantes, mais encore dans les mêmes proportions que dans les eaux du Sprudel. Un morceau de verre qu'on plaçait sur le vase dans lequel on évaporait la dissolution des terres dans l'acide nitrique, était corrodé par l'acide fluorique qui se volatilisait; dans toutes les trois on trouvait de la strontiane et du phosphate d'alumine. Les différences dans les quantités des parties constituantes ne portent que sur la quatrième décimale; ces différences n'étaient pas plus considérables que je ne les eusse trouvées en répétant l'analyse des mêmes eaux : on ne peut, par conséquent, les regarder que comme des erreurs d'observation. C'est une preuve nouvelle, et je la crois convaincante, que toutes les eaux de Carlsbad viennent d'un réservoir commun, et qu'elles ne diffèrent que dans la température et dans la quantité d'acide carbonique qu'elles contiennent; cet acide se trouve dans le Muhlbrunnen,

par exemple, en beaucoup plus grande quantité que dans le Sprudel. . . . . . . . . . .

Toutes les opinions sur de prétendues propriétés médicinales dissemblables de ces sources, qu'on entend si souvent énoncer, même par des médecins, appartiennent, quand on parle de quelque autre chose que de la chaleur différente, à ces assertions vides de sens et sans fondement qui sont si communes dans la médecine des eaux minérales.

---

Il était très-naturel de supposer qu'il y avait de la potasse dans les eaux de Carlsbad, ne fût-ce qu'en très-petite quantité. Je changeai, pour découvrir s'il en était ainsi, une certaine quantité de sels solubles en muriates, et je mêlai ceux-ci avec une quantité suffisante de muriate de platine pour former un sel double avec le sel de soude. J'évaporai alors la dissolution à siccité, à une chaleur douce, et je versai sur la masse sèche de l'alcool d'une pesanteur spécifique de 0,84. Elle se dissolvit sans le moindre résidu de muriate de potasse et de platine, qui est un sel insoluble dans l'alcool. On verra cependant par la suite que la potasse doit se trouver, malgré cela, quelquefois dans les eaux de Carlsbad, puisque j'ai reconnu le fluosilicate de potasse comme partie constituante de quelques pierres du Sprudel.

Quoiqu'aucune circonstance ne me fît soupçonner que l'eau contînt du lithion, cependant, comme sa présence était encore possible, je mêlai, pour résoudre la question, une certaine quantité de sels avec une dissolution de phosphate d'ammoniaque avec excès de base : elle ne se troubla pas, et ne donna aucun

précipité par l'évaporation. Il se forma cependant un dépôt cristallin lorsque, dans un autre essai, je mêlai ces sels avec du lithion, et ce dépôt resta pour la plus grande partie indissous, tandis que les autres sels étaient dissous par l'eau. Lorsque je n'avais pas fondu préalablement le sel que j'examinais, il donnait toujours avec le phosphate d'ammoniaque un petit précipité qui ressemblait beaucoup au phosphate de lithion; mais si je le traitais avec la dissolution de cobalt par le chalumeau, il fondait en une perle rougeâtre. Il était absorbé par le charbon; il laissait pour résidu une terre quand on le traitait sur le charbon avec le carbonate de soude. Ce précipité consistait donc en une petite quantité de carbonate de magnésie qui était restée dans le liquide alcalin; car le phosphate de lithion fond avec la dissolution de cobalt en une perle bleue, et entre dans le charbon avec le carbonate de soude. J'obtins un autre précipité avec l'acide phosphorique lorsque je fis le même essai avec l'eau-mère qui reste à Carlsbad; exposé à l'air, il devint d'un gris brunâtre, et se montra comme un mélange de phosphate de manganèse et de phosphate de chaux, sans les moindres traces de magnésie.

Comme j'avais trouvé l'acide fluorique et l'acide phosphorique dans les parties des eaux de Carlsbad qui sont insolubles après l'évaporation, je crus devoir les chercher aussi dans les parties solubles. En conséquence, après les avoir saturées avec de l'acide acétique, j'y versai de l'eau de chaux en grand excès; le liquide resta cependant parfaitement clair, même après plusieurs semaines.

Il me reste encore à dire quelques mots sur l'état dans lequel les substances contenues dans l'eau s'y trouvent. M. Murray, d'Edinbourg, nous a montré le premier que les analyses des eaux minérales nous donnent, très-souvent, les substances contenues dans l'eau, combinées dans une toute autre proportion qu'elles ne le sont dans l'eau même. Cela est vrai; mais M. Murray a exagéré la différence entre le résultat de l'analyse et le véritable rapport. Les recherches de Berthollet sur l'effet de la masse chimique comparée à la force de l'affinité, avaient déjà depuis long-temps éclairci ce sujet et résolu la question. Il en résultait, en effet, qu'ayant dissous dans la même eau plusieurs sels, qui ne se décomposent pas d'après l'ordre d'affinité connu, il arrive malgré cela une telle décomposition que chaque acide se combine avec une partie de chaque base, et que des combinaisons se forment, par conséquent, entre toutes les substances présentes. Quand on mêle de la soude caustique avec du sulfate de potasse, il se forme une certaine quantité de sulfate de soude, et les bases se partagent tellement entre les acides, que les parties libres de ces acides se tiennent justement en équilibre. La décomposition devient encore plus grande si la soude est combinée avec l'acide muriatique, puisqu'une partie de celui-ci s'unit en même temps à la potasse. On mêle dans le liquide deux sels; mais il en résulte quatre tant qu'ils restent dissous: cependant on en obtient de nouveau deux quand on évapore le liquide, par la raison que Berthollet a si bien développée.

On peut se demander combien cette dissolution con-

tient de chacun des quatre sels? Nous devons avouer que, même dans notre cas, où nous connaissons les quantités relatives de sulfate de potasse et de muriate de soude, cela ne se peut pas déterminer. Ces quantités dépendent, 1°. des quantités existantes de chacun des deux sels, ce qui est facile à déterminer; et 2°. du degré de l'affinité mutuelle des acides et des bases entr'elles, et pour connaître cela exactement, nous manquons encore tout-à-fait de données. Si nous connaissions les degrés d'affinité assez exactement pour pouvoir exprimer en nombres l'affinité relative de chaque corps, comme nous exprimons en nombres la pesanteur spécifique, la chaleur spécifique, etc., le calcul serait facile à faire d'après le résultat de l'analyse. Mais jusqu'à présent aucun de ces degrés d'affinité n'est assez connu pour que nous puissions le comparer exactement avec d'autres, et il est, par conséquent, mathématiquement impossible de déduire avec certitude du résultat de l'analyse, comment les acides et les bases sont combinés dans la dissolution commune. L'analyse fait connaître ce que le composé renferme. La théorie nous dit que tout n'était réellement pas contenu dans l'eau, comme on le trouve dans le résultat de l'analyse; mais on aurait tort d'essayer tout autre rapprochement, car il ne serait qu'une hypothèse vague.

Une base, dans les eaux de Carlsbad, surpasse tellement en quantité les autres, que le résultat de l'analyse ne peut pas différer beaucoup du véritable rapport. Malgré cela, on peut regarder comme certain que l'eau contient de petites quantités de sulfate et de

muriate de chaux, et de sulfate et de muriate de magnésie, et une plus grande quantité correspondante de carbonate de soude que l'analyse n'en donne, quoique ces sels soient peu à peu décomposés à mesure que l'eau s'évapore. Les mêmes lois d'équilibre doivent avoir lieu aussi dans les substances dont l'eau ne contient que des quantités extrêmement petites, quoique l'effet de ces lois soit encore moins sensible pour elles.

J'ai déjà avancé que tous les carbonates qui se trouvent dans les eaux de Carlsbad y sont à l'état de bicarbonate. Je ne les ai cependant pas calculés comme tels dans le résultat de mon analyse, parce qu'il aurait été moins comparable avec le résultat de mes prédécesseurs.

Ni le fluate ni le phosphate de chaux ne sont solubles dans l'eau; leur solubilité dans les acides me fit supposer que, dans les eaux de Carlsbad, ils étaient dissous par l'acide libre. Je mêlai, pour m'en assurer, du fluate de chaux qui venait d'être préparé et qui était encore humide, avec l'eau, que j'imprégnai alors avec du gaz carbonique. Le liquide, qui était devenu clair, fut filtré et chauffé ensuite jusqu'à l'ébullition; il ne se sépara cependant, au dégagement de l'acide carbonique, qu'une très-faible trace de fluate de chaux. Je mis alors du carbonate de soude et du fluate de chaux dans une autre quantité d'eau, et je saturai ce mélange avec du gaz carbonique. Cette dissolution se troubla considérablement pendant son ébullition, et déposa du fluate de chaux. Il s'ensuit donc que le bi-carbonate de soude est le véritable dissolvant du fluate de chaux dans les eaux de Carlsbad.

Le phosphate de chaux, qui est précipité par l'ammoniaque caustique de ses solutions dans les acides, ou par l'eau de chaux d'un liquide qui contient de l'acide phosphorique, est dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique en plus grande quantité et beaucoup plus facilement que le fluate de chaux, et je ne trouvais pas de différence quand l'eau contenait de la soude ou n'en contenait pas. Le phosphate de magnésie neutre ou avec excès de base est soluble en petite quantité dans l'eau, et se précipite quand on mêle l'eau avec une quantité un peu plus grande d'un sel. Nous avons déjà vu que le phosphate de magnésie se trouve aussi dans la pierre du Sprudel. Il paraît par conséquent que l'acide carbonique est aussi le dissolvant de ce sel. L'oxide de fer, quand il est formé, se partage peut-être avec l'alumine l'acide phosphorique, et peut-être aussi la chaux fait la même chose au moment où elle cesse d'être un bicarbonate.

Plusieurs chimistes ont essayé d'appliquer la doctrine des proportions déterminées au résultat de l'analyse des eaux minérales, comme si on devait regarder chaque eau d'une source comme une seule combinaison chimique dans une proportion fixe. On ne peut pas douter qu'il n'y ait quelques-unes des parties trouvées qui soient entr'elles dans une proportion chimique avant d'être dissoutes dans l'eau, parce qu'elles ont fait partie d'une combinaison certaine, combinaison qui est décomposée par l'eau, ou avant son action, par d'autres causes (1);

(1) On trouve en effet un grand rapport avec les proportions chimiques, dans le résultat obtenu par l'analyse des eaux

mais il ne faut pas admettre la même règle pour toutes les parties constituantes.

On peut supposer cela d'autant moins que si les parties constituantes d'une roche quelconque, par exemple, du granite, doivent être combinées d'après des proportions chimiques déterminées, quoique cela existe aussi dans les minéraux différens dont la roche se compose, cependant comme l'eau dissout tout ce qu'elle trouve de soluble sur son chemin, il n'est pas probable qu'elle ne rencontrera pas des mélanges mécaniques, car la masse des montagnes en contient partout. On aperçoit facilement quel peu d'importance on doit accorder à cette idée, en considérant qu'il y a des substances qui se trouvent dans l'eau en proportions si petites, que le nombre des atomes des parties constituantes qui s'y rencontrent en plus grande quantité, deviendrait tellement considérable que

---

de Carlsbad. Si on calcule les parties constituantes qui y sont contenues en plus grande quantité, par exemple, d'après le sulfate de soude, on obtient le résultat suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,587 = | 18 atomes. |
| Carbonate de soude, | 1,286 | 12 |
| Muriate de soude, | 1,061 | 9 |
| Carbonate de chaux, | 0,305 | 3 |
| Carbonate de magnésie, | 0,172 | 2 |

La différence entre la quantité calculée de muriate de soude et celle qui existe réellement est, cependant, si grande relativement à l'exactitude avec laquelle on peut déterminer la proportion de ce sel et celle du sulfate de soude, qu'elle excède beaucoup les limites des erreurs inévitables d'observation.

le poids d'un ou de plusieurs atomes tomberait dans les limites des erreurs qu'on ne peut pas éviter dans des recherches de cette nature.

(*La suite au Cahier prochain.*)

---

## Extrait *d'un Mémoire sur la double Réfraction.*

Par M^r A. Fresnel (1).

(Lu à l'Académie des Sciences le 26 novembre 1821).

On avait supposé jusqu'à présent que dans tous les cristaux qui divisent la lumière en deux faisceaux, un de ces faisceaux suit toujours les lois de la réfraction ordinaire. Les expériences de Huygens, de Wollaston et de Malus ayant démontré ce principe pour le spath calcaire, on l'avait étendu par analogie à toutes les autres substances douées de la double réfraction. Les considérations mécaniques au moyen desquelles je suis parvenu à l'expliquer pour les cristaux à un axe, et que j'ai exposées dans ces Annales, tom. XVII, pag. 179 et suivantes, me firent sentir que le même principe n'était plus applicable aux cristaux à deux axes, et que dans ceux-ci aucun des deux faisceaux ne devait suivre les lois de la réfraction ordinaire, ou, en d'autres termes, que les rayons appelés *ordinaires* devaient éprouver eux-mêmes des variations de vitesse analogues à celles des rayons extraordinaires : c'est aussi ce que l'expérience a confirmé.

La théorie des ondes ne m'annonçait pas ces variations

---

(1) Nous avons déjà rendu compte de la partie expérimentale de ce travail dans un rapport fait à l'Académie des Sciences, et publié, en 1822, dans le tome XX de ces *Annales*, page 337.

d'une manière vague : elle me donnait le moyen d'en calculer l'étendue d'après les élémens de la double réfraction du cristal, c'est-à-dire, son degré d'énergie et l'angle des deux axes. J'avais fait d'avance le calcul pour la topaze limpide, d'après les données tirées des observations de M. Biot; et l'expérience s'est accordée d'une manière satisfaisante avec le calcul, ou du moins la petite différence que j'ai observée peut être attribuée à quelque inexactitude dans les coupes du cristal ou la direction des rayons, et peut-être aussi à quelque légère différence de propriétés optiques entre ma topaze et celles de M. Biot.

Pour mesurer les variations de vitesse des rayons ordinaires, j'ai employé successivement la méthode d'interférences que fournit la diffraction, et le procédé que M. Biot a suivi dans ses recherches sur la double réfraction. Afin de comparer plus aisément par l'une et l'autre méthode la marche des rayons qui traversaient les deux plaques ou les deux prismes tirés du même cristal, j'avais fait travailler ensemble les deux plaques collées bord à bord, ainsi que les deux prismes, de manière que, dans chaque appareil, les faces des deux morceaux contigus fussent exactement sur un même plan ; ce qui avait été vérifié par la réflexion et au moyen des anneaux colorés que le contact d'un verre légèrement convexe faisait naître sur la surface des deux cristaux : après quoi chaque appareil avait été légèrement pressé entre deux verres plans, enduits d'une mince couche de térébenthine qui complétait le poli et servait en même temps à compenser presque exactement le petit défaut de continuité des deux surfaces contiguës. Les verres plans collés sur les prismes de topaze étaient eux-mêmes prismatiques, et présentaient,

chacun en sens contraire de l'angle du cristal, un angle égal à la moitié de celui-ci, de manière à l'achromatiser. Dans l'appareil composé de deux plaques de topaze, ces verres étaient des plaques à faces parallèles.

Pour obtenir la plus grande différence de réfraction entre les faisceaux ordinaires, il faut qu'étant l'un et l'autre perpendiculaires à la ligne qui divise en deux parties égales l'angle aigu des deux axes, l'un des faisceaux soit parallèle et l'autre perpendiculaire au plan des axes. Il est à remarquer que, dans la même circonstance, les rayons extraordinaires conservent au contraire une vitesse constante, conformément à la théorie. Ainsi lorsque le faisceau lumineux, restant perpendiculaire à l'axe moyen, tourne autour de cet axe, la vitesse des rayons extraordinaires reste constante, et celle des rayons ordinaires éprouve les plus grandes variations dont elle est susceptible; et réciproquement, lorsque le faisceau lumineux tourne autour de la ligne qui divise en deux parties égales l'angle obtus des deux axes, en restant perpendiculaire à cette ligne, les rayons ordinaires conservent la même vitesse, et la réfraction extraordinaire passe du *maximum* au *minimum*.

Les idées théoriques qui m'ont conduit à cette découverte reposent sur l'hypothèse que les vibrations lumineuses s'exécutent uniquement suivant des directions parallèles à la surface des ondes. Dans la note déjà citée, où j'ai présenté cette hypothèse avec quelque développement, j'ai fait voir qu'il suffisait d'admettre dans l'éther une résistance assez grande à la compression pour concevoir l'absence des vibrations longitudinales. D'après cette supposition sur la nature des vibrations lumineuses, la lumière polarisée est celle dans laquelle les oscillations

transversales s'exécutent constamment suivant une même direction ; et la lumière ordinaire est la réunion et la succession rapide d'une infinité de systèmes d'ondes polarisés dans toutes les directions. L'acte de la polarisation ne consiste pas à créer ces vibrations transversales, mais à les décomposer suivant deux directions rectangulaires constantes, et à séparer les deux systèmes d'ondes ainsi produits, soit seulement par leur différence de vitesse, comme dans les lames cristallisées, soit aussi par une différence d'inclinaison des ondes et des rayons, comme dans les cristaux taillés en prismes ou les plaques épaisses de carbonate de chaux ; car partout où il y a différence de vitesse entre les rayons, la réfraction peut les faire diverger. Enfin, d'après la même théorie, le plan de polarisation est le plan perpendiculairement auquel s'exécutent les vibrations transversales.

Cela posé, je considère un milieu doué de la double réfraction comme présentant des élasticités différentes dans les diverses directions ; et j'entends ici par *élasticité* la force plus ou moins grande avec laquelle le déplacement d'une tranche du milieu vibrant entraîne le déplacement de la tranche suivante. Je suppose toujours que ces tranches ne se rapprochent ni ne s'écartent les unes des autres, mais glissent seulement chacune dans leur plan, et d'une quantité très-petite relativement à la distance qui sépare deux molécules consécutives de l'éther.

Lorsque la lumière traverse un corps diaphane, les molécules propres de ce corps participent-elles aux vibrations lumineuses, ou celles-ci se propagent-elles seulement par l'éther renfermé dans le corps ? C'est une question qui n'est pas encore résolue. Mais quand même

l'éther serait le seul véhicule des ondes lumineuses, l'hypothèse qu'on vient d'énoncer pourrait être admise; car un arrangement particulier des molécules du corps peut modifier l'élasticité de l'éther, c'est-à-dire, la dépendance mutuelle de ses couches consécutives, de manière qu'elle n'ait pas la même énergie dans tous les sens. Ainsi, sans chercher à découvrir si tout le milieu réfringent ou seulement une portion de ce milieu participe aux vibrations lumineuses, nous ne considérerons que la partie vibrante quelle qu'elle soit; et la dépendance mutuelle de ses molécules sera ce que nous appellerons l'*élasticité du milieu*.

Quand on déplace une molécule dans un milieu élastique, la résultante des forces qui tendent à la ramener à sa première position n'est pas généralement parallèle à la direction suivant laquelle elle a été déplacée : il faut pour cela que les résultantes des forces qui poussent cette molécule de droite et de gauche dans chaque azimut aient la même intensité. Les directions pour lesquelles cette condition est remplie, c'est-à-dire, suivant lesquelles la molécule est repoussée dans la direction même de son déplacement, sont ce que j'appelle les *axes d'élasticité* du milieu, et que je considère comme *les véritables axes* du cristal.

Dans le Mémoire dont je présente ici l'extrait, je démontre d'abord que *lorsqu'un système quelconque de points matériels est en équilibre, il y a toujours, pour chacun d'eux, trois axes rectangulaires d'élasticité.* Il suffit ensuite de supposer que ces axes sont parallèles dans toute l'étendue du milieu, et que les petits déplacemens des molécules n'éprouvent pas la même résistance sui-

vant ces trois directions rectangulaires, pour représenter toutes les propriétés optiques des substances qu'on appelle *cristaux à un axe* ou *à deux axes.*

Si l'on prend sur chacun des trois axes rectangulaires d'élasticité et sur des rayons vecteurs menés dans tous les sens, des longueurs proportionnelles aux racines carrées des élasticités mises en jeu par les petits déplacemens parallèles à chacune de ces directions, on formera ainsi une surface qui représentera la loi des élasticités du milieu, et que, pour cette raison, nous appellerons *surface d'élasticité* : elle donnera immédiatement par la longueur de chaque rayon vecteur la vitesse de propagation des vibrations parallèles, parce que la vitesse sera encore ici proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité. On ne suppose pas dans cette construction que le carré du rayon vecteur soit la résultante entière des forces qui repoussent la molécule déplacée suivant sa direction, mais seulement la composante parallèle au rayon vecteur : cette résultante peut toujours se décomposer en deux forces, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire au rayon vecteur. Quand la molécule est obligée de suivre le rayon vecteur, c'est-à-dire, quand le plan de l'onde est perpendiculaire à l'autre composante, celle-ci n'a aucune influence sur la vitesse de propagation, puisqu'elle ne peut contribuer au déplacement des couches du milieu parallèlement à la surface des ondes ; on n'a donc plus à considérer alors que la force dirigée suivant le rayon vecteur : or, c'est toujours à ce cas que je ramène toutes les questions de la propagation des ondes dans le cristal.

C'est ici le lieu de remarquer que lorsque le plan de l'onde n'est pas normal à la composante perpendiculaire

au rayon vecteur, celle-ci tend à changer, d'une tranche à l'autre, la direction du mouvement vibratoire, auquel on ne peut pas appliquer alors les lois ordinaires de la propagation des ondes; mais il devient aisé de suivre sa marche si on le décompose en deux autres mouvemens rectangulaires dirigés suivant le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan de l'onde, pour lesquels la deuxième composante est normale à ce plan (ainsi que le calcul le démontre), et ne peut plus par conséquent dévier la direction du mouvement vibratoire, qui s'exécute et se propage alors comme dans les milieux d'une élasticité uniforme : seulement les deux systèmes d'ondes ainsi produits, développant des forces accélératrices différentes, ne se propagent pas l'un et l'autre avec la même vitesse; et l'intervalle qui sépare leurs points correspondans devient d'autant plus sensible qu'ils ont parcouru une plus grande épaisseur du cristal. Ce sont ces deux systèmes d'ondes qui donnent naissance aux phénomènes de coloration des lames cristallisées ou à la bifurcation des rayons lorsque le cristal est taillé en prisme; car leur différence de vitesse entraîne nécessairement une différence de réfraction. Quand on connaît la loi des vitesses de propagation de chaque système d'ondes, on peut toujours déterminer le changement d'inclinaison qu'ils éprouvent à leur entrée dans le prisme et à leur sortie, et calculer ainsi les inclinaisons relatives des faisceaux incidens et émergens : c'est pourquoi nous ne nous occuperons ici que de la recherche de la loi des vitesses.

Il est à remarquer d'abord qu'il suffit de connaître les trois axes de la surface d'élasticité pour déterminer

la longueur de tous ses rayons vecteurs, quelle que soit la nature de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant, si du moins l'on ne considère que de très-petits déplacemens de ces molécules, comme nous l'avons supposé jusqu'à présent. Si l'on représente par $a$, $b$ et $c$ les trois demi-axes de la surface, par $X$, $Y$ et $Z$ les angles qu'un rayon vecteur quelconque fait avec ces axes, et par $v$ la longueur de ce rayon vecteur, l'équation de la surface d'élasticité est :

$$v^2 = a^2 \cos.^2 X + b^2 \cos.^2 Y + c^2 \cos.^2 Z.$$

Le calcul qui conduit à ce résultat est fondé sur ce principe facile à démontrer, *que tout petit déplacement d'une molécule, suivant une direction quelconque, produit une force répulsive qui équivaut rigoureusement, en grandeur et en direction, à la résultante des trois forces répulsives que produiraient séparément trois déplacemens rectangulaires respectivement égaux aux composantes statiques du premier déplacement parallèles à leurs directions.* On suppose ici qu'il n'y a qu'une molécule déplacée, et que toutes les autres sont restées dans leurs positions primitives.

Il est facile ensuite de démontrer que les élasticités mises en jeu par les déplacemens complexes des molécules dans les ondes planes et indéfinies, suivent la même loi que les élasticités mises en jeu par le déplacement d'une seule molécule, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces moléculaires, du moins tant qu'on ne fait pas varier le plan de l'onde, mais seulement la direction des vibrations. Pour prouver que l'équation qui représente la loi des élasticités développées dans le cas du déplacement d'une seule molé-

cule convient également aux élasticités mises en jeu dans les ondes lumineuses, quelle que soit la direction de leur surface, il suffit d'établir de plus que l'élasticité développée dépend uniquement de la direction des petits déplacemens moléculaires, et reste constante malgré les variations du plan de l'onde, tant que cette direction ne change pas. C'est ce que j'ai vérifié sur la topaze par plusieurs expériences très-soignées, dans lesquelles j'ai comparé les vitesses de propagation de rayons traversant le cristal dans des sens différens, mais dont les mouvemens vibratoires ou les plans de polarisation affectaient la même direction : j'ai toujours trouvé qu'alors les vitesses sont les mêmes, c'est-à-dire qu'elles ne dépendent pas de la direction du rayon, mais seulement de celle de son plan de polarisation. Ce second théorème est-il aussi général que le premier et indépendant de toute hypothèse sur la loi de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant ? C'est ce que je n'ai pas encore approfondi ; j'ai trouvé seulement qu'on pourrait en rendre raison par des hypothèses très-simples et très-admissibles.

A l'aide de l'équation ci-dessus, on détermine à la fois les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, ainsi que la direction de leurs plans de polarisation : il suffit de calculer la courbe d'intersection de la surface d'élasticité avec un plan diamétral parallèle à l'onde : le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan séeant donneront par leurs directions celles des vibrations ordinaires et extraordinaires, et partant celles de leurs plans de polarisation, qui sont perpendiculaires à ces vibrations ; tandis que

leurs longueurs représenteront les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, comptées perpendiculairement au plan sécant.

Il y a toujours deux plans diamétraux qui coupent cette surface suivant un cercle; ils passent par l'axe moyen et sont également inclinés sur chacun des deux autres axes. Les ondes parallèles à ces plans ne pourront avoir qu'une seule vitesse de propagation, puisque, tous les rayons vecteurs contenus dans ces plans étant égaux, les vibrations parallèles développeront toujours les mêmes forces accélératrices, dans quelque direction qu'elles s'exécutent d'ailleurs. De plus, les composantes perpendiculaires aux rayons vecteurs étant toutes perpendiculaires au plan sécant, pour le cas particulier des sections circulaires, le milieu réfringent ne pourra plus dévier les mouvemens oscillatoires des ondes parallèles, ni par conséquent changer leur plan de polarisation. Si donc on coupe le cristal parallèlement au plan d'une des sections circulaires, et qu'on y introduise perpendiculairement des rayons polarisés, suivant un azimut quelconque, l'onde incidente étant parallèle à la face d'entrée, lui sera encore parallèle dans l'intérieur du cristal, et n'éprouvera conséquemment ni double réfraction ni déviation de son plan de polarisation. Ainsi les deux directions perpendiculaires aux sections circulaires présentent tous les caractères de ce qu'on appelle *les axes du cristal* : j'ai proposé de leur donner le nom d'*axes optiques*, pour les distinguer des axes d'élasticité. L'expérience confirme la relation que cette construction établit entre l'angle des deux axes optiques et les autres élémens de la double réfraction du cristal.

On sait que les rayons de diverses couleurs, ou, en d'autres termes, les ondes de diverses longueurs ne se propagent pas avec des vitesses égales dans le même milieu, et que leur vitesse de propagation est d'autant plus petite qu'elles sont plus courtes : ce phénomène peut s'expliquer en admettant que les sphères d'activité des forces qui tendent à ramener les molécules du milieu dans les positions d'équilibre, s'étendent à des distances sensibles relativement à la longueur des ondulations lumineuses, dont les plus longues n'ont pas un millième de millimètre : alors on trouve, comme je le montre dans mon Mémoire, que les ondes les plus courtes doivent se propager un peu plus lentement que les autres. En conséquence, les trois demi-axes $a$, $b$, $c$, qui représentent les vitesses de propagation des vibrations parallèles, doivent varier un peu pour les ondes de longueurs différentes, d'après la théorie comme d'après l'expérience : or, il est très-possible que cette variation n'ait pas lieu suivant le même rapport dans les trois axes ; alors l'angle que les deux sections circulaires font entr'elles, et partant l'angle des deux axes optiques, ne seraient plus les mêmes pour les rayons de diverses couleurs, ainsi que M. Brewster et M. Herschell l'ont remarqué dans plusieurs cristaux.

Lorsque le point de mire sur lequel on observe les effets de la double réfraction est assez éloigné pour qu'on puisse considérer l'onde incidente comme sensiblement plane, ainsi que nous l'avons fait jusqu'ici, elle l'est encore après sa réfraction dans le cristal ; et pour déterminer la divergence des rayons ordinaires et

extraordinaires, qui ne peut être sensible alors qu'autant que le cristal est prismatique, il suffit de connaître les changemens d'inclinaison des deux systèmes d'ondes à leur entrée dans le prisme et à leur sortie. On peut calculer chaque angle de réfraction à l'aide de l'équation des élasticités, ou plutôt des vitesses, d'après le principe général que les sinus des angles des ondes incidentes et réfractées avec la surface du milieu réfringent sont entr'eux comme les vitesses de propagation de ces ondes en dedans et en dehors du milieu : ce sera suivant une direction perpendiculaire à l'onde émergente qu'on verra l'image du point de mire.

Mais lorsque ce point est assez rapproché et la double réfraction assez forte, il devient nécessaire de connaître la loi de courbure des ondes lumineuses dans l'intérieur du cristal, c'est-à-dire, l'équation de leur surface, pour calculer les directions suivant lesquelles on verra les deux images du point de mire au travers du cristal. Il résulte du principe de la composition des petits mouvemens que tout plan tangent à la surface de l'onde (supposée tout entière dans le même milieu) doit être distant de son centre d'une quantité égale à l'espace parcouru au même instant par une onde plane indéfinie, partie de ce point à l'origine du mouvement, et parallèle à l'élément de l'onde courbe situé dans le plan tangent. Or, ces espaces parcourus par des ondes planes indéfinies, comptés perpendiculairement à leur surface, sont proportionnels, pour toutes les directions, au plus grand et au plus petit rayon vecteur des sections diamétrales de la surface d'élasticité parallèles à ces ondes planes. L'équation du plan sécant étant $z = mx + ny$,

le plus grand et le plus petit rayon vecteur de la section sont donnés par la relation suivante :

$$(a^2-v^2)(c^2-v^2)n^2+(b^2-v^2)(c^2-v^2)m^2$$
$$+(a^2-v^2)(b^2-v^2)=o,$$

dans laquelle $v$ représente à la fois le plus grand et le plus petit rayon vecteur. Ainsi la surface de l'onde courbe est touchée par chaque plan parallèle au plan sécant et distant de l'origine d'une quantité égale à la valeur de $v$ tirée de l'équation ci-dessus. Or, cette condition est satisfaite par l'équation suivante, qui est conséquemment celle de la surface de l'onde :

$$(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)(x^2+y^2+z^2)-a^2(b^2+c^2)x^2$$
$$-b^2(a^2+c^2)y^2-c^2(a^2+b^2)z^2+a^2b^2c^2=o.$$

Si dans la construction que Huygens a donnée pour déterminer la direction des rayons réfractés par le spath d'Islande, et qui peut s'appliquer à toute forme d'onde, on substitue à la sphère et à l'ellipsoïde de révolution la surface à deux nappes représentée par cette dernière équation, et qu'on opère d'ailleurs de la même manière, on aura deux plans tangens dont les points de contact, joints au centre de l'onde, donneront la direction du *rayon ordinaire* et du *rayon extraordinaire*.

Lorsque deux des axes d'élasticité sont égaux, $b$ et $c$, par exemple, cette équation peut être mise sous la forme,

$$(x^2+y^2+z^2-b^2)(a^2x^2+b^2(y^2+z^2)-a^2b^2)=o,$$

qui est le produit de l'équation d'une sphère par celle d'un ellipsoïde de révolution. Alors les deux sections circulaires de la surface d'élasticité se confondent avec le plan $yz$, et les deux axes optiques avec l'axe des $x$:

c'est le cas des cristaux *à un axe*, tels que le spath calcaire. Mais quand les trois axes sont inégaux, l'équation générale n'est plus décomposable en facteurs rationnels du second degré.

La surface des ondes lumineuses dans les cristaux pour lesquels $a$, $b$ et $c$ sont inégaux, peut être engendrée par une construction très-simple, qui établit une relation immédiate entre la longueur et la direction de ses rayons vecteurs. Si l'on conçoit un ellipsoïde ayant les mêmes demi-axes $a$, $b$ et $c$, et si, l'ayant coupé par un plan diamétral quelconque, on élève sur ce plan, au centre de l'ellipsoïde, une perpendiculaire égale au plus petit ou au plus grand rayon vecteur de la section, l'extrémité de cette perpendiculaire appartiendra à la surface de l'onde, ou, en d'autres termes, la longueur de cette perpendiculaire sera celle du rayon vecteur correspondant de la surface de l'onde, et donnera ainsi la vitesse des *rayons lumineux* qui se propagent dans cette direction; car ces rayons vecteurs doivent présenter effectivement, d'après la théorie des ondes, tous les caractères optiques qu'on attache au mot *rayon lumineux*. C'est un principe que nous ne pourrions pas démontrer sans entrer dans des détails un peu longs, mais qu'il était nécessaire d'énoncer ici pour faciliter la traduction des conséquences de la théorie des ondes dans le langage mieux connu du système de l'émission.

Si l'on divise l'unité par les carrés des deux demi-axes d'une section diamétrale de l'ellipsoïde, la différence entre ces quotiens est proportionnelle au produit des sinus des angles que la perpendiculaire à cette section fait avec les deux normales aux plans des sections circulaires, c'est-

à-dire, avec les deux axes optiques (1) du cristal. Cette conséquence de la théorie des ondes traduite dans le langage de l'émission, où les rapports des vitesses attribuées aux rayons sont inverses, est précisément la loi de la différence des carrés des vitesses que M. Brewster avait déduite de ses expériences, et qui avait été confirmée depuis par celles de M. Biot, auquel on doit la forme simple du produit des deux sinus.

La règle que M. Biot avait donnée pour déterminer la direction des plans de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires s'accorde aussi avec la construction que nous venons d'énoncer, ou du moins la légère différence qu'on remarquera en y réfléchissant, ne paraît pas susceptible d'être saisie par l'observation. Ainsi l'exactitude de cette construction se trouve établie à la fois par les expériences antérieures de M. Brewster et de M. Biot, et les nouvelles observations que j'ai faites pour la vérifier.

La théorie de la double réfraction dont nous avons exposé dans cet extrait les principaux résultats, et la construction si simple qu'on en déduit, présentent ce caractère remarquable que toutes les inconnues sont déterminées en même temps par la solution du problème. On

(1) Les plans des sections circulaires de l'ellipsoïde et de la surface d'élasticité ne coïncident pas rigoureusement, et par conséquent les normales à ces plans diffèrent un peu, mais d'un angle qui est très-petit pour tous les cristaux à deux axes connus jusqu'à présent : on peut également donner le nom d'*axe optique* à l'une ou l'autre de ces normales.

trouve à la fois la vitesse du rayon ordinaire, celle du rayon extraordinaire, et leurs plans de polarisation. Les physiciens qui ont souvent réfléchi sur les lois de la nature, sentiront que cette simplicité et ces relations intimes entre les diverses parties du phénomène offrent de grandes probabilités en faveur de la théorie qui les établit.

Long-temps avant de l'avoir conçue, et par la seule méditation des faits, j'avais senti qu'on ne pouvait découvrir la véritable explication de la double réfraction sans expliquer en même temps le phénomène de la polarisation, qui l'accompagne constamment : aussi est-ce après avoir trouvé quel mode de vibration constituait la polarisation de la lumière, que j'ai entrevu sur-le-champ les causes mécaniques de la double réfraction. Il me semblait encore plus évident que les vitesses des faisceaux ordinaire et extraordinaire devaient être, en quelque sorte, les deux racines d'une même équation; et je n'ai jamais pu admettre un seul instant l'explication d'après laquelle ce serait deux milieux différens, le corps réfringent, par exemple, et l'éther qu'il renferme, qui transmettraient, l'un les ondes extraordinaires et l'autre les ondes ordinaires; et en effet, si ces deux milieux pouvaient transmettre séparément les ondes lumineuses, on ne voit pas pourquoi les deux vitesses de propagation seraient rigoureusement égales dans la plupart des corps réfringens, et pourquoi des prismes de verre, d'eau, d'alcool, etc., ne diviseraient pas aussi la lumière en deux faisceaux distincts.

Dans le Mémoire dont je viens de donner un extrait (que j'aurais desiré pouvoir développer davan-

tage), j'explique aussi par la même théorie pourquoi la réfraction d'un milieu homogène ne divise jamais la lumière en trois ou quatre faisceaux, mais seulement en deux, et pourquoi il ne peut pas y avoir plus de deux axes optiques dans les cristaux, du moins tant que les trois axes d'élasticité de chacun des points du milieu réfringent sont parallèles dans toute son étendue; ce qui doit avoir lieu quand les lignes ou les faces homologues de ses molécules sont parallèles. Il semblerait au premier abord que ce parallélisme doit être le résultat constant d'une cristallisation régulière: cependant des corps parfaitement cristallisés, tels que le cristal de roche, présentent des phénomènes optiques qu'on ne peut concilier avec le parallélisme complet des lignes moléculaires, et qui sembleraient indiquer une déviation progressive et régulière de ces lignes dans le passage d'une tranche du milieu à la tranche suivante. On conçoit, en effet, outre le cas du parallélisme, une foule d'autres arrangemens moléculaires qui conserveraient au corps tous les caractères de l'homogénité et d'une organisation régulière. Mais je n'ai calculé jusqu'à présent les lois de la réfraction que pour le cas particulier où les axes d'élasticité ont la même direction dans chaque point du milieu vibrant.

## Sur *certains Mouvemens produits dans les liquides conducteurs, lorsqu'ils transmettent le courant électrique.*

Par J. F. W. Herschel.

Ayant eu occasion, dans le cours de quelques recherches sur l'action décomposante de la pile voltaïque, d'électriser le mercure en contact avec différentes solutions salines, je fus surpris de remarquer des mouvemens qui se manifestaient dans le métal fluide d'une manière violente et en apparence capricieuse, et pour lesquels, après avoir opéré uniformément avec un pouvoir électrique très-faible, je n'aperçus aucune cause satisfaisante. Le mercure était fréquemment agité par des tressaillemens convulsifs; quelquefois il s'y formait des courans et des jets d'une grande violence, d'autres fois il s'étendait, s'allongeait en se ramifiant dans les formes les plus irrégulières, et présentait en même temps des apparences d'une nature si bizarre qu'elles m'engagèrent à faire des expériences dans le dessein de déterminer leurs causes, ou du moins les circonstances essentielles à leur reproduction.

Les singulières agitations convulsives qu'éprouve le mercure dans le circuit d'une puissante batterie voltaïque déchargée à travers l'eau, ont été remarquées par sir H. Davy, dans ses *Elémens de Philosophie chimique*. L'eau pure cependant est un conducteur si imparfait qu'il faut employer de grands pouvoirs voltaïques; les phénomènes sont alors trop irréguliers et les agitations trop violentes pour qu'on puisse les analyser. C'est

seulement lorsque les liquides qui conduisent bien sont employés pour former le circuit, qu'ils deviennent réguliers, et que l'on peut les étudier à loisir sous l'influence d'une énergie électrique modérée.

Si une quantité de mercure très-pur, parfaitement net et débarrassé de toute pellicule superficielle, est placée dans un vase évaporatoire de terre de Wedgewood (qui doit être aussi très-propre), et couvert d'un quart de pouce d'acide sulfurique concentré, et que les extrémités de deux fils de platine en connexion avec les poles d'un appareil voltaïque soient immergés *dans l'acide seulement*, aux côtés opposés du mercure, mais non en contact avec lui, il se manifestera immédiatement dans l'acide une circulation rapide due à un courant violent qui s'établit entre les deux fils, et qui traverse directement le mercure dans la direction du pole négatif au pole positif. Ce courant se maintient constamment, sans aucun changement dans sa direction et dans sa force, pendant tout le temps que la pile reste en activité, et enfin ne cesse que lorsque son énergie est entièrement épuisée. Le mercure n'est pas sensiblement terni ou attaqué, ni l'acide altéré, à l'exception d'une portion insignifiante qui a été décomposée, et d'une petite quantité de mercure qui a été dissoute.

Si l'on examine les phénomènes plus attentivement, on observe que les parties de l'acide en contact immédiat *avec le mercure* sont celles qui se meuvent avec plus d'activité, étant lancées sur la surface avec une violence surprenante; celles au-dessus paraissent plutôt entraînées que poussées par aucune force agissant direc-

tement sur elles. On apercevra aussi que si l'on met quelque distance entre les deux fils et les bords du mercure, le courant sera resserré, et la circulation s'établira dans le voisinage immédiat du mercure *seulement*, le liquide environnant les fils étant presque entièrement en repos.

Si le centre du globule ou disque de mercure est placé sur une ligne droite avec les extrémités des fils, le courant s'établira diamétralement en travers ; mais si cette condition n'est pas remplie, le courant suivra une curviligne dont chaque filament élémentaire, ayant une courbure différente, traversera le mercure dans une direction ayant une origine et une fin communes, à savoir les points (*z*) et (*c*) de ses surfaces plus près respectivement des poles négatifs et positifs.

Si le globule de mercure est d'une grosseur considérable (de quatre ou cinq cents grains, par exemple), on le verra s'allonger, dans la direction de ses axes, vers le fil négatif, et s'il en est assez près, il l'atteindra et s'amalgamera avec lui. Mais si le globule est petit, toute la masse se mettra en mouvement avec plus ou moins de rapidité, comme si elle était attirée par le fil négatif : cette attraction apparente est souvent très-énergique, le globule se mouvant avec une grande vélocité vers le fil négatif auquel il adhère immédiatement. Si les fils forment un triangle avec la situation du globule qui est en repos, le dernier n'avance ni directement vers le fil négatif ni directement du pole positif ; mais dans une direction oblique aux deux, en approchant du fil négatif dans une spirale, et en décrivant fréquemment plusieurs révolutions avec une vélocité croissante avant de tomber finalement sur lui et de s'y

amalgamer, comme un corps sollicité à la fois par une force attractive dirigée vers le fil négatif et une force répulsive provenant du fil positif.

Ces attractions et répulsions apparentes, cet allongement des grandes masses de mercure et le mouvement corporel des petites masses vers le pole négatif, ne sont réellement que les effets secondaires; leur cause immédiate, ainsi que celle des courans dans l'acide environnant, sera découverte par une attention plus fixée à ce qui se passe dans le mercure même lorsqu'il est sous l'influence de l'action électrique.

A cette fin, si l'on opère sur une masse considérable de mercure, et qu'au lieu de le recouvrir avec l'acide on l'en humecte, ainsi que le vaisseau qui le contient; et que l'on fasse le circuit comme précédemment, et seulement par le moyen de la mince couche d'acide qui y adhère, la circulation du mercure ne sera pas moins violente; mais il sera alors évident que l'origine du mouvement est, dans le mercure même, la membrane acide (en ce qui concerne l'impulsion mécanique), purement passive et entraînée par son adhérence au mercure, le couvrant fréquemment d'une couche assez mince pour réfléchir les couleurs irisées sur toute sa surface, ce qui rend le phénomène extrêmement beau. Le mouvement du mercure consiste dans une radiation continuelle de ses molécules superficielles, du point le plus près du pole négatif par lequel il est maintenu dans un état constant de circulation : chaque particule étant poussée, le long de la surface, du pole négatif au pole positif, et retournant le long de l'axe. Si le mercure était isolé du fond du vaisseau qui le contient, et dé-

pourvu d'adhésion pour le liquide, le *momentum* des portions allant et de celles retournant serait égal, et le centre de gravité de toute la masse resterait en repos. Mais à cause de la friction et de l'adhésion du fluide métallique pour le vase et le liquide, ceux-ci réagissent sur le globule dans une direction contraire à celle des courans superficiels, et conséquemment le centre de gravité avance dans cette direction vers le pole négatif. Lorsque ce mouvement ne peut avoir lieu, le courant intérieur n'ayant qu'une direction uniforme, se fait un passage vers le pole négatif en tournant et allongeant la figure du mercure en proportion de son énergie. Si le métal est oxidé, de manière à donner une certaine tenacité à la membrane superficielle, les courans poursuivent leur course au-dessous, et le fluide surnageant, étant ainsi défendu de leur action, reste en repos. Dans ce cas, la seule indication de leur existence est la protubérance produite par les courans intérieurs qui en résultent.

Nombre d'apparences singulières sont expliquées par ce courant intérieur. Dans quelques cas, le mercure laisse apercevoir des projections ou protubérances d'une longueur extraordinaire qui prennent la direction du fil électrisé et suivent tous ses mouvemens. Le courant intérieur qui en résulte est dans ce cas dirigé le long de l'axe de l'éminence, depuis son origine jusqu'à son extrémité : ce qui est alors une indication d'une radiation très-puissante le long de sa surface dans une direction opposée. Dans d'autres cas, le mercure s'aplatit dans toute son étendue, et lorsque cela arrive, il est toujours couvert d'une couche épaisse d'oxide. Alors, les courans super-

ficiels tendent de la circonférence vers le centre de la masse aplatie, et le courant intérieur part du centre dans toutes sortes de directions dans un plan horizontal, forçant ainsi continuellement la circonférence à s'étendre de plus en plus, en diminuant le rayon de courbure de la section verticale de ses bords.

On peut prouver évidemment, en substituant un bassin de verre à un bassin de Wedgewood, que le frottement contre le vaisseau est la cause principale de l'attraction apparente du globule de mercure vers l'extrémité négative. Dans ce cas, les courans sont produits comme ci-devant; mais quoiqu'ils soient également puissans, le globule montre peu ou point de tendance au mouvement, et s'il est placé sur une plaque de verre usée à l'émeri ou sur toute autre surface non polie, il se mouvra avec une grande rapidité; et même sa tendance vers le pole négatif est si forte que des globules d'une grandeur considérable peuvent ainsi être soutenus, sans le contact de l'un ou l'autre fil, sur des surfaces inclinées de plusieurs degrés à l'horizon.

Il est essentiel, pour la production des mouvemens dont il est question, que le mercure soit en contact et en libre communication avec l'acide, et qu'il soit placé dans le rayon d'influence du courant électrique. Il n'est cependant pas nécessaire que l'acide s'étende du fil positif au fil négatif; les mouvemens se manifesteront dans tout circuit interrompu du mercure et du liquide environnant. L'expérience est cependant difficile à faire dans l'acide sulfurique, dont l'attraction capillaire pour le mercure est telle que la plus petite goutte, appliquée sur une partie quelconque d'une surface propre de ce

mtéal, s'étend instantanément sur toute la surface; mais avec d'autres milieux conducteurs on peut la faire aisément. On n'a qu'à laisser tomber quelques gouttes du liquide qu'on veut essayer sur deux endroits différens d'une surface large et nette de mercure et mettre les poles en contact avec eux, ayant soin de ne point plonger les fils dans le métal; on observera alors que les mêmes phénomènes auront lieu vers chaque pole comme si toute la surface avait été couverte de liquide. Les mouvemens sont cependant limités aux seules portions de mercure actuellement couvertes, toutes les autres restant entièrement en repos : les effets sont aussi modifiés par l'action capillaire.

Lorsque le circuit s'opère dans un liquide conducteur, de la manière décrite au commencement de ce Mémoire, l'action est plus énergique dans la ligne droite joignant les poles; sa violence diminue à mesure que l'on s'éloigne de cette ligne, quoiqu'elle continue à être sensible à une grande distance de chaque côté. La marche de l'électricité en traversant les milieux conducteurs, et la loi de sa distribution peuvent être tracées jusqu'à un certain point, en plaçant des globules de mercure en différens endroits d'un liquide : on verra alors clairement que l'action de l'électricité n'est point du tout bornée à la ligne droite joignant les poles, ou à la surface du milieu conducteur; mais qu'en quittant immédiatement les fils elle se répand dans tout le liquide, sa densité étant la plus grande dans l'espace qui les sépare, et diminuant rapidement à mesure qu'on s'éloigne de leur ligne de jonction.

L'action mécanique paraît (*cœteris paribus*) être pro-

portionnelle à la quantité absolue d'électricité qui passe, dans un temps donné, à travers un filament du liquide, dans le point où cette action est exercée. L'effet magnétique est proportionnel (*cæteris paribus*) à la quantité absolue d'électricité en mouvement, existante à chaque instant dans une portion donnée du fil conducteur, ou dans la sphère d'action de l'aiguille, c'est-à-dire, à sa densité (1). Pour établir ou réfuter cette distinction, il faudrait faire des expériences qu'il est aisé d'imaginer, mais que je n'ai pas encore eu l'occasion d'entreprendre. A la vérité, les phénomènes en question présentent, au premier abord, une forte analogie avec les tour-

(1) En m'exprimant ainsi, je conçois que l'électricité se transmet dans les conducteurs, comme le fait un gaz d'une élasticité très-grande, mais variable, dans des tuyaux plus ou moins étroits; supposition qui représente plusieurs des phénomènes. La faible électricité d'une seule paire de plaques peut être comparée à l'air rendu dense et moins élastique par un froid excessif, tandis que la charge active d'une puissante batterie ou l'étincelle d'une machine électrique ordinaire se trouverait, dans cette manière de voir, assimilée à de l'air dont la force serait exaltée et la densité diminuée par une forte chaleur. La même quantité en poids peut passer à travers le même tuyau conducteur dans le même temps; mais, dans un cas, le mouvement de chaque molécule sera comparativement beaucoup plus lent, et la quantité existante à chaque instant de la décharge du conducteur, beaucoup plus grande que dans l'autre. Je n'ignore pas que cette supposition est purement une représentation des faits, une simple analogie; mais elle sert à expliquer la distinction établie dans le texte.

billons électro-magnétiques observés dans les métaux fluides; mais en présentant des aimans très-puissans au mercure, dans diverses positions, pendant qu'il était dans les circonstances ci-dessus décrites, je n'ai jamais pu m'apercevoir qu'ils aient exercé aucune influence ni pour accélérer, ni pour retarder ou faire dévier les courans, et cependant ceux-ci sont incomparablement plus puissans en proportion de l'énergie électrique employée, que les mouvemens produits par l'action des aimans.

En conséquence de cette énergie supérieure d'action, les phénomènes qui font le sujet de ce Mémoire fournissent une preuve, peut-être la plus sensible connue encore, du développement d'un faible pouvoir voltaïque. J'ai construit une petite batterie de fils de zinc et de cuivre tortillés ensemble, chaque paire ayant deux pouces de long depuis le point de leur jonction et les fils $\frac{1}{30}$ de pouce d'épaisseur. Dix paires de ces fils excités par de l'acide nitrique extrêmement faible, ont déterminé une rotation rapide dans le mercure interposé au-dessous de l'acide sulfurique entre les deux poles, et une marche régulière des globules de ce métal vers le pole négatif. La rotation a continué avec une force considérable, quoique les fils fussent retirés de manière à n'avoir que leurs extrémités en contact avec le liquide des auges, cas auquel la surface exposée par chaque paire à l'action de l'acide ne pouvait excéder $\frac{1}{50}$ de pouce carré. Cette indication est même si délicate que l'électricité développée en mettant les extrémités d'un fil mince de zinc et de cuivre en contact avec un verre simplement humecté à l'aide de l'acide faible dont on vient de parler, est très-suffisante pour déterminer une rota-

tion immédiate non équivoque dans une once ou deux de mercure exposé convenablement à son action. Par ce moyen, on peut mettre en évidence le plus faible développement électrique. J'ai rendu ainsi sensible d'une manière frappante l'électricité développée par une simple différence dans l'état de la surface de deux petites portions de fil de cuivre de la même bobine (l'une étant un peu plus propre que l'autre), chacun d'eux n'étant pas immergé de plus d'un pouce de longueur; ou celle mise en mouvement par un fil de cuivre et un fil de zinc tenus près l'un de l'autre et plongés dans de l'eau de pompe commune; intensité qu'il n'est point aisé de rendre sensible par d'autres moyens. Il ne suffit point cependant, pour le succès de ces expériences, de plonger les extrémités des fils conducteurs au-dessous de l'acide sulfurique. Les surfaces de contact exigent d'être beaucoup augmentées pour assurer la transmission de toute l'électricité développée. Le meilleur moyen est de les immerger dans des bains profonds de mercure au-dessous de l'acide, un de chaque côté du globule qui doit être mis en rotation (1).

---

(1) L'efficacité d'une augmentation de surface pour transmettre l'électricité dans un liquide est remarquable. En mettant le pole positif en contact avec une grande surface de mercure, ou encore mieux d'un amalgame de mercure et de zinc, sur laquelle on met une solution saline, la réduction des métaux, des alcalis et des terres à l'autre pole s'effectue avec une facilité qu'on aurait de la peine à croire si on n'en faisait l'épreuve. On peut de cette manière décomposer l'ammoniaque avec trois paires de plaques des dimensions indiquées ci-dessus, très-modérément excitées.

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que les mouvemens engendrés lorsqu'un courant d'électricité est transmis sur le mercure à travers l'acide sulfurique. En employant d'autres liquides conducteurs et d'autres corps métalliques, il se produit des phénomènes du même genre, mais tellement modifiés par la nature des substances employées, par l'intensité du pouvoir électrique et la manière de conduire les expériences, qu'elles en sont extrêmement fatigantes; et je dois avertir le lecteur qui voudrait les répéter, qu'il doit s'attendre à les voir manquer fréquemment, ou même donner des résultats contraires à ceux que je vais décrire, et cela par des causes qu'il n'est point aisé de découvrir. La principale est l'impureté du mercure, et on n'en doit point employer qui n'ait été soigneusement distillé et bien lavé avec de l'acide nitrique affaibli. J'ai été long-temps avant de découvrir cette nécessité; et l'ignorance d'une condition aussi essentielle m'a jeté dans une série de répétitions fastidieuses et décourageantes de chaque expérience, tellement que j'ai été sur le point d'abandonner le sujet, obtenant des résultats contraires en opérant, comme je le supposais alors, d'une manière tout-à-fait semblable.

Lorsque le mercure, ainsi purifié et parfaitement propre, est placé dans un liquide conducteur quelconque, et que le circuit est formé sans mettre aucun des poles en contact avec le métal, les phénomènes varient selon la nature du liquide; mais, généralement parlant, l'effet est la production de courans plus ou moins violens, rayonnant du point le plus près du pole négatif. Dans les acides, et particulièrement dans les plus puissans et les plus concentrés, et qui sont en même temps bons

conducteurs de l'électricité, ces mouvemens sont décidés et violens. Leur force est moindre dans les dissolutions salines à proportion que l'énergie électro-positive de la base est plus grande. Ainsi, dans les sels à base de potasse ils sont faibles, et souvent on ne les aperçoit que par un tressaillement momentané du mercure lorsque le circuit est complété. Dans les sels de soude, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et de chaux, ils sont plus distincts, et plus encore dans ceux de magnésie, d'alumine et des oxides métalliques. D'un autre côté, dans des solutions des alcalis purs et des terres alcalines, le mercure reste parfaitement en repos, ou du moins il n'est agité que par des mouvemens faibles et irréguliers, dépendant de causes que je ne considère pas dans ce moment.

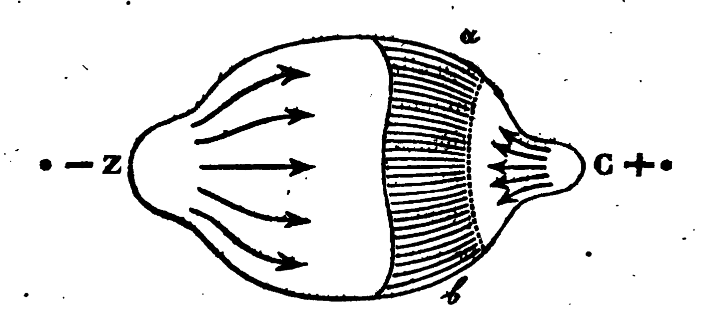
Dans plusieurs liquides, et spécialement dans les solutions des nitrates, il se forme non-seulement un courant rayonnant du pole négatif, mais aussi un autre rayonnant du pole positif, qui même, dans certains cas, l'emporte sur le premier. Ces deux courans coexistent dans le mercure; et en conséquence de leur action, il se forme dans le globule de mercure une zone d'équilibre, plus près de l'un ou de l'autre pole, selon que le courant contraire est plus ou moins violent. Le meilleur moyen de rendre sensible l'influence de ces contre-courans est d'opérer sur une grande quantité de mercure, au-dessous de dissolutions affaiblies, et en tenant le pole négatif éloigné, et le positif très-près. De cette manière, il y a très-peu de liquides qui, lorsque la pile est énergique, ne montrent des signes d'un contre-courant venant du pole positif. La cause en deviendra

évidente lorsque nous parlerons de l'action des alliages métalliques.

Si l'un des poles est mis en contact avec le mercure, on n'observe aucun courant partant du point de contact (du moins lorsque le mercure est propre et le contact parfait); mais il y en a un très-violent de produit, rayonnant de l'autre pole. Si c'est le fil négatif qui touche le mercure, il s'amalgame avec ce métal, qui reste brillant, et les courans rayonnans du pole positif sont visibles à l'œil nu et sont généralement puissans. Si c'est au contraire le fil positif qui est mis en contact avec le mercure, l'oxidation de la surface métallique est ordinairement si rapide, qu'elle empêche les courans d'être visibles; mais un tressaillement momentané venant du pole négatif, l'aplatissement du globule et les protubérances qu'il laisse apercevoir, indiquent suffisamment leur existence au-dessous de la croûte d'oxide. Néanmoins, lorsque l'oxidation n'a pas lieu ou qu'on l'empêche par l'addition de quelques gouttes d'acide nitrique affaibli, les courans partant du fil négatif sont aussi apparens que ceux du pole positif qu'on vient de citer.

Mais ce ne sont pas là les seuls effets produits par le contact avec les fils électrisés. En interrompant les contacts et complétant le circuit dans le liquide, on trouve presque toujours que le mercure a acquis de nouvelles propriétés, ou du moins perdu quelques-unes des siennes. Un globule de mercure pur, du poids de 4 à 500 grains, étant introduit dans une dissolution de sulfate de soude, et le circuit étant complété dans le liquide sans mettre aucun pole en contact avec le mercure, il s'est produit un courant du fil négatif. Un

contact momentané ayant été établi avec ce fil, et le circuit complété comme avant dans le liquide, il s'est établi un contre-courant du pole positif, moins étendu, mais en apparence plus violent dans son action que celui du pole négatif. En conséquence, le globule a acquis la figure ci-jointe, ayant une élongation obtuse en *Z*, le point le plus près du pole négatif, et une plus pointue en *C*, près du pole positif, avec une espèce d'épaulement en *ab*. La couche d'oxide produite en *Z* était ainsi balayée vers *C*; mais elle n'atteignait jamais au-delà de la zone *ab*, où elle restait stationnaire et constante en quantité, étant absorbée vers le bord près de *C* aussi vite qu'elle était produite à l'autre.




On a ensuite établi un autre contact de courte durée avec le fil négatif, et, en le rompant, les courans de *C* ont été trouvés augmentés en force et en étendue, pendant que ceux de *Z* étaient proportionnellement affaiblis, la zone d'équilibre *ab* étant portée plus près de *Z*. Par un autre contact prolongé de peu de secondes, les courans négatifs étaient rassemblés dans un très-petit espace vers *Z*; et en prolongeant le contact un peu plus

long-temps, son influence était entièrement détruite, et il s'établissait une circulation régulière du fil positif au pole négatif, à travers tout le globule.

Mais les effets ne s'arrêtaient pas là. En faisant durer le contact un temps considérable, les courans négatifs (de *Z*) étaient non-seulement détruits, mais changés en une autre direction contraire, c'est-à-dire, rayonnant dans toutes sortes de directions vers *Z*, les particules de mercure paraissant attirées vers ce point avec une force égale ou supérieure à celle avec laquelle ils étaient repoussés de *C*. Le pole positif étant tenu à quelque distance, et le négatif directement sur la surface, on a observé qu'il se rassemblait directement au-dessous, sur le mercure, une écume ou impureté, en forme d'une petite tache circulaire qui suivait exactement ses mouvemens; et lorsqu'elle était enlevée, le fluide métallique était violemment poussé vers le fil, en un jet de deux ou trois dixièmes de pouce de hauteur.

Le mercure a été mis ensuite en contact avec le fil positif. On n'a point observé d'oxidation sur sa surface pendant un temps considérable, durant lequel des courans violens continuaient encore à rayonner dans toutes sortes de directions du fil et *vers* le point *Z* (ou dans une direction opposée à celle qu'ils auraient prise dans le mercure s'il n'avait pas été touché par le fil). Par degrés cependant, il s'est établi une contre-radiation opposée au pole négatif, dont la sphère était d'abord très-limitée, mais qui s'est graduellement étendue en produisant une zone d'équilibre qui s'avançait rapidement vers le fil positif, et qui enfin l'a atteint. Au même instant où cela a eu lieu, l'oxidation du mercure a com-

mencé en *Z*, et s'est étendue rapidement sur toute la surface, formant une croûte épaisse.

Si le contact du fil positif était continué assez long-temps, le mercure, débarrassé de sa croûte, était réduit à son premier état, comme s'il venait seulement d'être introduit; mais si le contact était interrompu aussitôt que la croûte était entièrement formée, il se produisait une radiation du fil négatif, qui brisait la croûte et la balayait vers *C*, où elle se rassemblait et se dissipait. Mais au moment où cela arriva, et lorsque la surface du mercure se trouva entièrement éclaircie, elle s'arrêta un instant; une violente révulsion eut lieu, et un courant puissant partit de *C*, celui de *Z* étant anéanti.

Ces effets observés pour la première fois (non réunis et en succession, comme on le suppose ici, mais peu à peu) parurent extrêmement embarrassans; mais on ne tarda pas à en trouver la clé. J'observai que l'effet d'un contact du pole négatif était, proportionnellement, d'autant plus fort pour produire la radiation positive, que le mercure avait circulé plus long-temps, avant d'établir le contact; et après un examen plus attentif, je trouvai que le fil de platine qui terminait le conducteur négatif de la pile s'était amalgamé avec un peu de mercure, qui, durant le temps que le circuit était complété dans le liquide, s'était allié au sodium, et l'effet parut toujours être en proportion avec la quantité de ce métal qu'on pourrait juger s'être produite. Je ne balançai pas, par conséquent, à attribuer toutes les nouvelles propriétés acquises par le mercure à la présence du sodium, et en introduisant dans une certaine quantité de mercure pur une petite quantité d'amalgame de sodium préparé à

dessein, je trouvai ma supposition vérifiée; une violente rotation négative se produisit immédiatement au moment où le circuit fut complété, quoique je n'eusse permis à aucun des fils de toucher le mercure.

La présence de ce métal si éminemment électro-positif, contre-balance donc l'effet du pole négatif, et exalte celui du pole positif, proportionnellement à sa quantité, jusqu'à ce qu'enfin il le surpasse entièrement, et même renverse le premier effet. Comme la quantité de sodium de l'alliage, dans l'expérience précédente, diminuait par l'action oxidante du pole positif, le mercure, comme nous l'avons vu, reprenait par degrés ses propriétés primitives. Le seul effet qui puisse paraître obscur est la révulsion remarquée dans la direction des courans, lorsque la dernière portion d'oxide disparaît. C'est dans le fait un phénomène très-compliqué, mais on en peut donner une explication facile. L'oxidation a lieu sur la surface du métal avant que les dernières portions de sodium soient enlevées; et il est aisé de le prouver. Nous n'avons qu'à détruire entièrement le circuit, et la croûte d'oxide disparaîtra graduellement (à moins qu'on ne la laisse aller trop loin), étant réduite par le sodium qui est au-dessous. Sans la croûte d'oxide, les courans, comme on l'a vu, seraient dans une direction positive; mais l'oxide agissant sur la couche de molécules métalliques, immédiatement au-dessous de lui, les prive de leur sodium qu'il change en alcali, laissant une couche de mercure pur. Maintenant nous avons vu que dans *celui-ci*, la rotation, dans les circonstances de l'expérience, aurait une direction négative. Nous n'avons donc qu'à admettre que l'action particulière par laquelle les rotations sont pro-

duites est bornée à la surface commune du mercure et du liquide, pour avoir une idée parfaite de la manière dont tout s'opère. La couche de mercure pur sur la surface est déplacée par un courant négatif, conformément à ses relations naturelles, et remplacée immédiatement par une couche de mercure alliée de sodium, de l'intérieur; celle-ci, à son tour, est privée de sodium par l'oxide en contact avec elle, et est immédiatement déplacée comme la précédente, et ainsi successivement jusqu'à ce que toute la croûte d'oxide soit épuisée ou balayée : alors le mercure restant, retenant encore un excès de sodium, et rendu instantanément homogène, est attaqué comme un alliage, de la manière déjà décrite.

Que le sodium existe dans le mercure lorsqu'il a acquis la propriété de produire des courans venant du pole positif (que, pour abréger, j'appellerai dorénavant *propriété positive*) par son contact avec le fil négatif, c'est ce qu'on peut montrer par une expérience simple et intéressante. Si l'on détache le fil négatif et que l'on rompe le circuit, le mercure reste tranquille au fond du vaisseau, à l'exception d'un léger mouvement irrégulier à sa surface, et de quelques petites bulles de gaz qui se dégagent de temps en temps. Maintenant touchez-le, sous le liquide, avec un fil métallique quelconque (pourvu que ses extrémités ne soient pas alliées avec le sodium), et une action violente commencera à l'instant. Le mercure se précipite de tous côtés vers le fil en un courant superficiel, comme pour se débarrasser de son sodium, et il se dégage du fil une quantité abondante d'hydrogène, non-seulement au point de contact avec le mercure, mais à tous ceux où il touche le liquide. En un mot,

le sodium, le fil et le liquide forment une combinaison voltaïque, et l'électricité produite par le contact est assez puissante pour décomposer la portion aqueuse du dernier en grande abondance. L'action dure plus ou moins de temps, selon que le mercure est plus ou moins chargé de sodium (rarement cependant plus de 10 à 12 secondes), et lorsqu'elle est terminée, le mercure a perdu sa propriété positive, et se trouve réduit à son ancien état (pourvu que le contact soit fait avec le cuivre ou le platine), ce qu'une longue immersion dans le fluide sans un tel contact n'aurait pas entièrement effectué.

Si le mercure, ainsi chargé de sodium, n'est point tout-à-fait couvert de liquide, et que le contact métallique soit établi vers le sommet du globule, hors du liquide, aucun effet n'est produit; mais si l'autre extrémité du fil métallique est courbée en rond et mise en contact avec le liquide, à quelque distance du mercure, l'action violente décrite ci-dessus commence aussitôt; avec cette différence que *maintenant* la surface du mercure est radiée dans toutes les directions du point de contact à la circonférence du globule, et que l'hydrogène se dégage en totalité à l'autre extrémité du fil dans l'endroit où il touche le liquide. Une petite considération suffira cependant pour montrer que ces deux effets sont une pure modification d'un seul. Ce n'est pas du fil ou vers le fil, comme tel, que les particules superficielles rayonnent; elles suivent simplement la direction des courans électriques prédominans dans leur passage *à travers le liquide*. C'est, dans le fait, la source de l'électricité positive, qui se trouve dans le mercure

lui-même, au lieu de lui être communiquée d'une pile, à une certaine distance.

Ayant ainsi tracé distinctement l'altération des effets mécaniques, par le contact avec le pole négatif, jusqu'au moment où le mercure s'amalgame avec le sodium, la connaissance de ce fait me conduisit à rechercher plus minutieusement les effets de différens métaux, dans leur contact et leur amalgamation avec le mercure, et les résultats que j'ai obtenus dans le cours de ces recherches me paraissent si remarquables que je ne puis m'empêcher d'en parler, surtout parce qu'ils donnent l'explication de presque toutes les anomalies qui m'embarrassèrent dans le commencement de mon travail. Pour rendre les effets moins sujets à objection, comme aussi plus distincts et plus frappans, j'ai employé, pour liquide conducteur, des solutions de potasse ou de soude fortement imprégnées d'alcali caustique. Cela donne à la fois l'avantage d'un très-grand pouvoir conducteur, et de ne point produire de courans quelconques dans le mercure, aucun pole n'étant mis en contact avec lui. Quels que soient les mouvemens qui prendront naissance en introduisant un nouveau métal, on devra naturellement les attribuer à sa présence, et le mercure pourra être regardé comme purement passif, du moins en ce qui regarde l'action mécanique.

*Potassium.* Des contacts répétés d'une seconde avec le pole négatif d'une pile de huit paires, en faible action, au-dessous de la potasse liquide, ont donné à 100 grains de mercure la propriété de tourner violemment du pole positif au pole négatif, le circuit étant complété dans le liquide seulement. Le mouvement de rotation était

puissant lorsque l'alliage était délayé dans plus de 100 grains de mercure pur, et était encore sensible après l'addition d'une autre quantité égale. Dans ce dernier cas, la quantité de potassium existante pouvait à peine être estimée au millionième de toute la masse.

*Sodium.* J'ai électrisé au-dessous d'une solution de soude 100 grains de mercure pendant 80 secondes, avec l'appareil voltaïque ci-dessus, le mercure étant en contact avec le fil négatif. Le mercure a ensuite été lavé promptement et introduit sous une petite cloche de verre avec de l'acide hydrochlorique, qui a dégagé un volume d'hydrogène pur, égal aux 0,95 de celui du mercure. Conséquemment il contenait moins de $\frac{1}{50}$ de grain de sodium; et comme avec d'aussi petites quantités la production de l'alliage métallique doit se faire uniformément, un contact d'une seconde aurait produit seulement $\frac{1}{80}$ de la totalité du sodium, ou $\frac{1}{4000}$ de grain, c'est-à-dire, $\frac{1}{400000}$ de toute la masse. Cela posé, on a établi un contact d'une seconde de durée, dans des circonstances semblables, avec 100 grains de nouveau mercure, et celui-ci a acquis un mouvement puissant de rotation. Délayé maintenant avec une quantité égale de mercure pur, ce qui réduisait le sodium à la proportion de $\frac{1}{400000}$, la rotation était affaiblie, mais était encore pleine et distincte. Délayé de nouveau avec 100 grains de mercure, de manière que la proportion du sodium n'était plus que de $\frac{1}{1200000}$, on observait encore une radiation considérable du pole positif, mais ne s'étendant pas sur toute la surface. Enfin, en réduisant la proportion à $\frac{1}{1600000}$ par l'addition d'une nouvelle quantité

de mercure, on observait encore une faible radiation dans la même direction.

*Ammonium.* Une quantité considérable de l'amalgame de cette singulière substance, introduite dans le mercure au-dessous d'une solution de soude, *ne lui a communiqué aucun mouvement de rotation.* Ce résultat remarquable, qui tend à séparer l'ammonium par un caractère défini des autres bases métalliques des alcalis, s'est reproduit dans une nouvelle expérience. Il serait possible qu'une complète insolubilité de l'amalgame dans le mercure pur fût la cause de ce manque d'action, mais la supposition pourrait être regardée comme forcée.

*Barium.* Ce corps métallique s'amalgame avec la plus grande rapidité en employant huit paires et le muriate de baryte. Un petit globule de mercure placé au fil négatif pousse de belles arborisations et se fige en un amalgame solide, presque permanent, très-cristallin. Une très-petite quantité de cet alliage introduite dans le mercure, au-dessous d'une solution de soude, lui donne la propriété positive. Son efficacité à renverser la direction des courans est extrêmement sensible lorsqu'il est introduit dans une quantité de mercure tenu dans un état de rotation négative au-dessous de l'acide oxalique. L'amalgame de mercure et de barium ajouté en petite quantité à du mercure pur, lui donne la même propriété que nous avons fait remarquer dans le cas du sodium, de former une combinaison voltaïque avec un fil mis en contact avec lui, au-dessous d'une solution saline, et l'action ainsi produite est beaucoup plus durable.

*Strontium, calcium.* Ces métaux, avec les faibles pouvoirs employés dans mes expériences, ont manifesté

une non disposition remarquable à s'allier au mercure. La petite quantité de calcium déposée sur un fil négatif amalgamé empêcha son contact avec un plus gros globule de mercure à un tel degré, qu'il ne fut possible d'établir aucune communication électrique. Au-dessous d'une solution de strontiane, le contact du fil négatif communiqua d'une manière sensible, quoique très-faible, la propriété rotatoire positive. Que cet effet n'était point dû uniquement au faible pouvoir conducteur du liquide; c'est ce qui fut prouvé en ajoutant un peu d'amalgame de zinc; car le mercure commença immédiatement à tourner rapidement. L'influence du *magnésium* est plus sensible que celle du strontium ou du calcium, à cause de la plus grande facilité avec laquelle il s'amalgame.

*Zinc*. Lorsque du mercure pur est électrisé sous des solutions de potasse ou de soude sans être en contact avec aucun des poles de la manière si souvent décrite, il ne donne aucun signe de rotation, comme on l'a déjà observé; mais si on le touche un instant avec l'extrémité d'un fil propre de zinc, ou si on y porte un atome d'amalgame solide de zinc, aussi peu qu'on pourra en prendre sur la pointe d'une aiguille, il se met à tourner violemment dans une direction positive (ou du pole positif).

Un alliage d'une partie de zinc et de 10,000 de mercure pur tourne avec la plus grande violence. S'il est délayé dans une quantité de mercure dix fois plus grande, la force de rotation ne paraît que peu diminuée. La proportion du mercure fut augmentée jusqu'à 400000, et la rotation, quoique faible, était encore complète, se pro-

pageait à travers la totalité d'une masse considérable d'alliage; et même, lorsque le zinc ne fit plus que le $\frac{1}{700000}$ du tout, on observait encore un courant rayonnant à une courte distance du pole positif. Mais quand le zinc ne forma plus que $\frac{1}{1000000}$, on n'apercevait aucune différence entre l'alliage et le mercure pur.

*Plomb.* Un alliage de 200 parties de mercure et de 1 de plomb possédait à perfection la propriété positive. Lorsque la proportion du mercure fut de 667, la rotation était encore produite, mais elle n'était pas pleine et régulière. Portée à 1000, on n'observait plus qu'un léger courant rayonnant du pole positif à une courte distance, et à 2000, le mouvement fut entièrement éteint.

*Etain.* Ce métal agit de la même manière et à-peu-près avec la même énergie que le plomb, autant que j'en ai pu juger à l'œil. Il est certainement de beaucoup inférieur au zinc.

*Fer.* Il communique la propriété en question, quoiqu'il existe dans le mercure en si petite quantité qu'il ne puisse être découvert par le prussiate de potasse. D'un autre côté, le *cuivre* ne la communique point, quoiqu'on augmente sa proportion au point de donner une dissolution bleue dans l'acide nitrique, et même d'empêcher entièrement le mercure de couler.

Parmi les autres métaux que j'ai essayés, l'*antimoine* est le seul qui exerce une action sensible; mais elle est si faible que je suis disposé à l'attribuer à l'impureté de l'antimoine employé, surtout à cause que ce métal est placé très-bas dans l'échelle d'énergie électro-positive. Le bismuth, l'argent et l'or, quoiqu'existant en

muriate de chaux, et de sulfate et de muriate de magnésie, et une plus grande quantité correspondante de carbonate de soude que l'analyse n'en donne, quoique ces sels soient peu à peu décomposés à mesure que l'eau s'évapore. Les mêmes lois d'équilibre doivent avoir lieu aussi dans les substances dont l'eau ne contient que des quantités extrêmement petites, quoique l'effet de ces lois soit encore moins sensible pour elles.

J'ai déjà avancé que tous les carbonates qui se trouvent dans les eaux de Carlsbad y sont à l'état de bicarbonate. Je ne les ai cependant pas calculés comme tels dans le résultat de mon analyse, parce qu'il aurait été moins comparable avec le résultat de mes prédécesseurs.

Ni le fluate ni le phosphate de chaux ne sont solubles dans l'eau; leur solubilité dans les acides me fit supposer que, dans les eaux de Carlsbad, ils étaient dissous par l'acide libre. Je mêlai, pour m'en assurer, du fluate de chaux qui venait d'être préparé et qui était encore humide, avec l'eau, que j'imprégnai alors avec du gaz carbonique. Le liquide, qui était devenu clair, fut filtré et chauffé ensuite jusqu'à l'ébullition; il ne se sépara cependant, au dégagement de l'acide carbonique, qu'une très-faible trace de fluate de chaux. Je mis alors du carbonate de soude et du fluate de chaux dans une autre quantité d'eau, et je saturai ce mélange avec du gaz carbonique. Cette dissolution se troubla considérablement pendant son ébullition, et déposa du fluate de chaux. Il s'ensuit donc que le bi-carbonate de soude est le véritable dissolvant du fluate de chaux dans les eaux de Carlsbad.

Le phosphate de chaux, qui est précipité par l'ammoniaque caustique de ses solutions dans les acides, ou par l'eau de chaux d'un liquide qui contient de l'acide phosphorique, est dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique en plus grande quantité et beaucoup plus facilement que le fluate de chaux, et je ne trouvais pas de différence quand l'eau contenait de la soude ou n'en contenait pas. Le phosphate de magnésie neutre ou avec excès de base est soluble en petite quantité dans l'eau, et se précipite quand on mêle l'eau avec une quantité un peu plus grande d'un sel. Nous avons déjà vu que le phosphate de magnésie se trouve aussi dans la pierre du Sprudel. Il paraît par conséquent que l'acide carbonique est aussi le dissolvant de ce sel. L'oxide de fer, quand il est formé, se partage peut-être avec l'alumine l'acide phosphorique, et peut-être aussi la chaux fait la même chose au moment où elle cesse d'être un bicarbonate.

Plusieurs chimistes ont essayé d'appliquer la doctrine des proportions déterminées au résultat de l'analyse des eaux minérales, comme si on devait regarder chaque eau d'une source comme une seule combinaison chimique dans une proportion fixe. On ne peut pas douter qu'il n'y ait quelques-unes des parties trouvées qui soient entr'elles dans une proportion chimique avant d'être dissoutes dans l'eau, parce qu'elles ont fait partie d'une combinaison certaine, combinaison qui est décomposée par l'eau, ou avant son action, par d'autres causes (1);

---

(1) On trouve en effet un grand rapport avec les proportions chimiques, dans le résultat obtenu par l'analyse des eaux

mais il ne faut pas admettre la même règle pour toutes les parties constituantes.

On peut-supposer cela d'autant moins que si les parties constituantes d'une roche quelconque, par exemple, du granite, doivent être combinées d'après des proportions chimiques déterminées, quoique cela existe aussi dans les minéraux différens dont la roche se compose, cependant comme l'eau dissout tout ce qu'elle trouve de soluble sur son chemin, il n'est pas probable qu'elle ne rencontrera pas des mélanges mécaniques, car la masse des montagnes en contient partout. On aperçoit facilement quel peu d'importance on doit accorder à cette idée, en considérant qu'il y a des substances qui se trouvent dans l'eau en proportions si petites, que le nombre des atomes des parties constituantes qui s'y rencontrent en plus grande quantité, deviendrait tellement considérable que

---

de Carlsbad. Si on calcule les parties constituantes qui y sont contenues en plus grande quantité, par exemple, d'après le sulfate de soude, on obtient le résultat suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,587 = | 18 atomes. |
| Carbonate de soude, | 1,286 | 12 |
| Muriate de soude, | 1,061 | 9 |
| Carbonate de chaux, | 0,305 | 3 |
| Carbonate de magnésie, | 0,172 | 2 |

La différence entre la quantité calculée de muriate de soude et celle qui existe réellement est, cependant, si grande relativement à l'exactitude avec laquelle on peut déterminer la proportion de ce sel et celle du sulfate de soude, qu'elle excède beaucoup les limites des erreurs inévitables d'observation.

le poids d'un ou de plusieurs atomes tomberait dans les limites des erreurs qu'on ne peut pas éviter dans des recherches de cette nature.

( *La suite au Cahier prochain.* )

---

## EXTRAIT *d'un Mémoire sur la double Réfraction.*

### PAR Mr A. FRESNEL (1).

( Lu à l'Académie des Sciences le 26 novembre 1821).

ON avait supposé jusqu'à présent que dans tous les cristaux qui divisent la lumière en deux faisceaux, un de ces faisceaux suit toujours les lois de la réfraction ordinaire. Les expériences de Huygens, de Wollaston et de Malus ayant démontré ce principe pour le spath calcaire, on l'avait étendu par analogie à toutes les autres substances douées de la double réfraction. Les considérations mécaniques au moyen desquelles je suis parvenu à l'expliquer pour les cristaux à un axe, et que j'ai exposées dans ces Annales, tom. XVII, pag. 179 et suivantes, me firent sentir que le même principe n'était plus applicable aux cristaux à deux axes, et que dans ceux-ci aucun des deux faisceaux ne devait suivre les lois de la réfraction ordinaire, ou, en d'autres termes, que les rayons appelés *ordinaires* devaient éprouver eux-mêmes des variations de vitesse analogues à celles des rayons extraordinaires : c'est aussi ce que l'expérience a confirmé.

La théorie des ondes ne m'annonçait pas ces variations

---

(1) Nous avons déjà rendu compte de la partie expérimentale de ce travail dans un rapport fait à l'Académie des Sciences, et publié, en 1822, dans le tome XX de ces *Annales*, page 337.

d'une manière vague : elle me donnait le moyen d'en calculer l'étendue d'après les élémens de la double réfraction du cristal, c'est-à-dire, son degré d'énergie et l'angle des deux axes. J'avais fait d'avance le calcul pour la topaze limpide, d'après les données tirées des observations de M. Biot; et l'expérience s'est accordée d'une manière satisfaisante avec le calcul, ou du moins la petite différence que j'ai observée peut être attribuée à quelque inexactitude dans les coupes du cristal ou la direction des rayons, et peut-être aussi à quelque légère différence de propriétés optiques entre ma topaze et celles de M. Biot.

Pour mesurer les variations de vitesse des rayons ordinaires, j'ai employé successivement la méthode d'interférences que fournit la diffraction, et le procédé que M. Biot a suivi dans ses recherches sur la double réfraction. Afin de comparer plus aisément par l'une et l'autre méthode la marche des rayons qui traversaient les deux plaques ou les deux prismes tirés du même cristal, j'avais fait travailler ensemble les deux plaques collées bord à bord, ainsi que les deux prismes, de manière que, dans chaque appareil, les faces des deux morceaux contigus fussent exactement sur un même plan ; ce qui avait été vérifié par la réflexion et au moyen des anneaux colorés que le contact d'un verre légèrement convexe faisait naître sur la surface des deux cristaux : après quoi chaque appareil avait été légèrement pressé entre deux verres plans, enduits d'une mince couche de térébenthine qui complétait le poli et servait en même temps à compenser presque exactement le petit défaut de continuité des deux surfaces contiguës. Les verres plans collés sur les prismes de topaze étaient eux-mêmes prismatiques, et présentaient,

chacun en sens contraire de l'angle du cristal, un angle égal à la moitié de celui-ci, de manière à l'achromatiser. Dans l'appareil composé de deux plaques de topaze, ces verres étaient des plaques à faces parallèles.

Pour obtenir la plus grande différence de réfraction entre les faisceaux ordinaires, il faut qu'étant l'un et l'autre perpendiculaires à la ligne qui divise en deux parties égales l'angle aigu des deux axes, l'un des faisceaux soit parallèle et l'autre perpendiculaire au plan des axes. Il est à remarquer que, dans la même circonstance, les rayons extraordinaires conservent au contraire une vitesse constante, conformément à la théorie. Ainsi lorsque le faisceau lumineux, restant perpendiculaire à l'axe moyen, tourne autour de cet axe, la vitesse des rayons extraordinaires reste constante, et celle des rayons ordinaires éprouve les plus grandes variations dont elle est susceptible; et réciproquement, lorsque le faisceau lumineux tourne autour de la ligne qui divise en deux parties égales l'angle obtus des deux axes, en restant perpendiculaire à cette ligne, les rayons ordinaires conservent la même vitesse, et la réfraction extraordinaire passe du *maximum* au *minimum*.

Les idées théoriques qui m'ont conduit à cette découverte reposent sur l'hypothèse que les vibrations lumineuses s'exécutent uniquement suivant des directions parallèles à la surface des ondes. Dans la note déjà citée, où j'ai présenté cette hypothèse avec quelque développement, j'ai fait voir qu'il suffisait d'admettre dans l'éther une résistance assez grande à la compression pour concevoir l'absence des vibrations longitudinales. D'après cette supposition sur la nature des vibrations lumineuses, la lumière polarisée est celle dans laquelle les oscillations

transversales s'exécutent constamment suivant une même direction ; et la lumière ordinaire est la réunion et la succession rapide d'une infinité de systèmes d'ondes polarisés dans toutes les directions. L'acte de la polarisation ne consiste pas à créer ces vibrations transversales, mais à les décomposer suivant deux directions rectangulaires constantes, et à séparer les deux systèmes d'ondes ainsi produits, soit seulement par leur différence de vitesse, comme dans les lames cristallisées, soit aussi par une différence d'inclinaison des ondes et des rayons, comme dans les cristaux taillés en prismes ou les plaques épaisses de carbonate de chaux ; car partout où il y a différence de vitesse entre les rayons, la réfraction peut les faire diverger. Enfin, d'après la même théorie, le plan de polarisation est le plan perpendiculairement auquel s'exécutent les vibrations transversales.

Cela posé, je considère un milieu doué de la double réfraction comme présentant des élasticités différentes dans les diverses directions ; et j'entends ici par *élasticité* la force plus ou moins grande avec laquelle le déplacement d'une tranche du milieu vibrant entraîne le déplacement de la tranche suivante. Je suppose toujours que ces tranches ne se rapprochent ni ne s'écartent les unes des autres, mais glissent seulement chacune dans leur plan, et d'une quantité très-petite relativement à la distance qui sépare deux molécules consécutives de l'éther.

Lorsque la lumière traverse un corps diaphane, les molécules propres de ce corps participent-elles aux vibrations lumineuses, ou celles-ci se propagent-elles seulement par l'éther renfermé dans le corps ? C'est une question qui n'est pas encore résolue. Mais quand même

l'éther serait le seul véhicule des ondes lumineuses, l'hypothèse qu'on vient d'énoncer pourrait être admise ; car un arrangement particulier des molécules du corps peut modifier l'élasticité de l'éther, c'est-à-dire, la dépendance mutuelle de ses couches consécutives, de manière qu'elle n'ait pas la même énergie dans tous les sens. Ainsi, sans chercher à découvrir si tout le milieu réfringent ou seulement une portion de ce milieu participe aux vibrations lumineuses, nous ne considérerons que la partie vibrante quelle qu'elle soit ; et la dépendance mutuelle de ses molécules sera ce que nous appellerons l'*élasticité du milieu.*

Quand on déplace une molécule dans un milieu élastique, la résultante des forces qui tendent à la ramener à sa première position n'est pas généralement parallèle à la direction suivant laquelle elle a été déplacée : il faut pour cela que les résultantes des forces qui poussent cette molécule de droite et de gauche dans chaque azimut aient la même intensité. Les directions pour lesquelles cette condition est remplie, c'est-à-dire, suivant lesquelles la molécule est repoussée dans la direction même de son déplacement, sont ce que j'appelle les *axes d'élasticité* du milieu, et que je considère comme *les véritables axes* du cristal.

Dans le Mémoire dont je présente ici l'extrait, je démontre d'abord que *lorsqu'un système quelconque de points matériels est en équilibre, il y a toujours, pour chacun d'eux, trois axes rectangulaires d'élasticité.* Il suffit ensuite de supposer que ces axes sont parallèles dans toute l'étendue du milieu, et que les petits déplacemens des molécules n'éprouvent pas la même résistance sui-

vant ces trois directions rectangulaires, pour représenter toutes les propriétés optiques des substances qu'on appelle *cristaux à un axe* ou *à deux axes*.

Si l'on prend sur chacun des trois axes rectangulaires d'élasticité et sur des rayons vecteurs menés dans tous les sens, des longueurs proportionnelles aux racines carrées des élasticités mises en jeu par les petits déplacemens parallèles à chacune de ces directions, on formera ainsi une surface qui représentera la loi des élasticités du milieu, et que, pour cette raison, nous appellerons *surface d'élasticité* : elle donnera immédiatement par la longueur de chaque rayon vecteur la vitesse de propagation des vibrations parallèles, parce que la vitesse sera encore ici proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité. On ne suppose pas dans cette construction que le carré du rayon vecteur soit la résultante entière des forces qui repoussent la molécule déplacée suivant sa direction, mais seulement la composante parallèle au rayon vecteur : cette résultante peut toujours se décomposer en deux forces, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire au rayon vecteur. Quand la molécule est obligée de suivre le rayon vecteur, c'est-à-dire, quand le plan de l'onde est perpendiculaire à l'autre composante, celle-ci n'a aucune influence sur la vitesse de propagation, puisqu'elle ne peut contribuer au déplacement des couches du milieu parallèlement à la surface des ondes ; on n'a donc plus à considérer alors que la force dirigée suivant le rayon vecteur : or, c'est toujours à ce cas que je ramène toutes les questions de la propagation des ondes dans le cristal.

C'est ici le lieu de remarquer que lorsque le plan de l'onde n'est pas normal à la composante perpendiculaire

au rayon vecteur, celle-ci tend à changer, d'une tranche à l'autre, la direction du mouvement vibratoire, auquel on ne peut pas appliquer alors les lois ordinaires de la propagation des ondes; mais il devient aisé de suivre sa marche si on le décompose en deux autres mouvemens rectangulaires dirigés suivant le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan de l'onde, pour lesquels la deuxième composante est normale à ce plan (ainsi que le calcul le démontre), et ne peut plus par conséquent dévier la direction du mouvement vibratoire, qui s'exécute et se propage alors comme dans les milieux d'une élasticité uniforme : seulement les deux systèmes d'ondes ainsi produits, développant des forces accélératrices différentes, ne se propagent pas l'un et l'autre avec la même vitesse; et l'intervalle qui sépare leurs points correspondans devient d'autant plus sensible qu'ils ont parcouru une plus grande épaisseur du cristal. Ce sont ces deux systèmes d'ondes qui donnent naissance aux phénomènes de coloration des lames cristallisées ou à la bifurcation des rayons lorsque le cristal est taillé en prisme; car leur différence de vitesse entraîne nécessairement une différence de réfraction. Quand on connaît la loi des vitesses de propagation de chaque système d'ondes, on peut toujours déterminer le changement d'inclinaison qu'ils éprouvent à leur entrée dans le prisme et à leur sortie, et calculer ainsi les inclinaisons relatives des faisceaux incidens et émergens : c'est pourquoi nous ne nous occuperons ici que de la recherche de la loi des vitesses.

Il est à remarquer d'abord qu'il suffit de connaître les trois axes de la surface d'élasticité pour déterminer

la longueur de tous ses rayons vecteurs, quelle que soit la nature de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant, si du moins l'on ne considère que de très-petits déplacemens de ces molécules, comme nous l'avons supposé jusqu'à présent. Si l'on représente par $a$, $b$ et $c$ les trois demi-axes de la surface, par $X$, $Y$ et $Z$ les angles qu'un rayon vecteur quelconque fait avec ces axes, et par $v$ la longueur de ce rayon vecteur, l'équation de la surface d'élasticité est :

$$v^2 = a^2 \cos.^2 X + b^2 \cos.^2 Y + c^2 \cos.^2 Z.$$

Le calcul qui conduit à ce résultat est fondé sur ce principe facile à démontrer, *que tout petit déplacement d'une molécule, suivant une direction quelconque, produit une force répulsive qui équivaut rigoureusement, en grandeur et en direction, à la résultante des trois forces répulsives que produiraient séparément trois déplacemens rectangulaires respectivement égaux aux composantes statiques du premier déplacement parallèles à leurs directions.* On suppose ici qu'il n'y a qu'une molécule déplacée, et que toutes les autres sont restées dans leurs positions primitives.

Il est facile ensuite de démontrer que les élasticités mises en jeu par les déplacemens complexes des molécules dans les ondes planes et indéfinies, suivent la même loi que les élasticités mises en jeu par le déplacement d'une seule molécule, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces moléculaires, du moins tant qu'on ne fait pas varier le plan de l'onde, mais seulement la direction des vibrations. Pour prouver que l'équation qui représente la loi des élasticités développées dans le cas du déplacement d'une seule molé-

cule convient également aux élasticités mises en jeu dans les ondes lumineuses, quelle que soit la direction de leur surface, il suffit d'établir de plus que l'élasticité développée dépend uniquement de la direction des petits déplacemens moléculaires, et reste constante malgré les variations du plan de l'onde, tant que cette direction ne change pas. C'est ce que j'ai vérifié sur la topaze par plusieurs expériences très-soignées, dans lesquelles j'ai comparé les vitesses de propagation de rayons traversant le cristal dans des sens différens, mais dont les mouvemens vibratoires ou les plans de polarisation affectaient la même direction : j'ai toujours trouvé qu'alors les vitesses sont les mêmes, c'est-à-dire qu'elles ne dépendent pas de la direction du rayon, mais seulement de celle de son plan de polarisation. Ce second théorème est-il aussi général que le premier et indépendant de toute hypothèse sur la loi de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant? C'est ce que je n'ai pas encore approfondi; j'ai trouvé seulement qu'on pourrait en rendre raison par des hypothèses très-simples et très-admissibles.

A l'aide de l'équation ci-dessus, on détermine à la fois les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, ainsi que la direction de leurs plans de polarisation : il suffit de calculer la courbe d'intersection de la surface d'élasticité avec un plan diamétral parallèle à l'onde : le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan sécant donneront par leurs directions celles des vibrations ordinaires et extraordinaires, et partant celles de leurs plans de polarisation, qui sont perpendiculaires à ces vibrations; tandis que

leurs longueurs représenteront les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, comptées perpendiculairement au plan sécant.

Il y a toujours deux plans diamétraux qui coupent cette surface suivant un cercle; ils passent par l'axe moyen et sont également inclinés sur chacun des deux autres axes. Les ondes parallèles à ces plans ne pourront avoir qu'une seule vitesse de propagation, puisque, tous les rayons vecteurs contenus dans ces plans étant égaux, les vibrations parallèles développeront toujours les mêmes forces accélératrices, dans quelque direction qu'elles s'exécutent d'ailleurs. De plus, les composantes perpendiculaires aux rayons vecteurs étant toutes perpendiculaires au plan sécant, pour le cas particulier des sections circulaires, le milieu réfringent ne pourra plus dévier les mouvemens oscillatoires des ondes parallèles, ni par conséquent changer leur plan de polarisation. Si donc on coupe le cristal parallèlement au plan d'une des sections circulaires, et qu'on y introduise perpendiculairement des rayons polarisés, suivant un azimut quelconque, l'onde incidente étant parallèle à la face d'entrée, lui sera encore parallèle dans l'intérieur du cristal, et n'éprouvera conséquemment ni double réfraction ni déviation de son plan de polarisation. Ainsi les deux directions perpendiculaires aux sections circulaires présentent tous les caractères de ce qu'on appelle *les axes du cristal* : j'ai proposé de leur donner le nom d'*axes optiques*, pour les distinguer des axes d'élasticité. L'expérience confirme la relation que cette construction établit entre l'angle des deux axes optiques et les autres élémens de la double réfraction du cristal.

On sait que les rayons de diverses couleurs, ou, en d'autres termes, les ondes de diverses longueurs ne se propagent pas avec des vitesses égales dans le même milieu, et que leur vitesse de propagation est d'autant plus petite qu'elles sont plus courtes : ce phénomène peut s'expliquer en admettant que les sphères d'activité des forces qui tendent à ramener les molécules du milieu dans les positions d'équilibre, s'étendent à des distances sensibles relativement à la longueur des ondulations lumineuses, dont les plus longues n'ont pas un millième de millimètre : alors on trouve, comme je le montre dans mon Mémoire, que les ondes les plus courtes doivent se propager un peu plus lentement que les autres. En conséquence, les trois demi-axes $a, b, c$, qui représentent les vitesses de propagation des vibrations parallèles, doivent varier un peu pour les ondes de longueurs différentes, d'après la théorie comme d'après l'expérience : or, il est très-possible que cette variation n'ait pas lieu suivant le même rapport dans les trois axes; alors l'angle que les deux sections circulaires font entr'elles, et partant l'angle des deux axes optiques, ne seraient plus les mêmes pour les rayons de diverses couleurs, ainsi que M. Brewster et M. Herschell l'ont remarqué dans plusieurs cristaux.

Lorsque le point de mire sur lequel on observe les effets de la double réfraction est assez éloigné pour qu'on puisse considérer l'onde incidente comme sensiblement plane, ainsi que nous l'avons fait jusqu'ici, elle l'est encore après sa réfraction dans le cristal; et pour déterminer la divergence des rayons ordinaires et

extraordinaires, qui ne peut être sensible alors qu'autant que le cristal est prismatique, il suffit de connaître les changemens d'inclinaison des deux systèmes d'ondes à leur entrée dans le prisme et à leur sortie. On peut calculer chaque angle de réfraction à l'aide de l'équation des élasticités, ou plutôt des vitesses, d'après le principe général que les sinus des angles des ondes incidentes et réfractées avec la surface du milieu réfringent sont entr'eux comme les vitesses de propagation de ces ondes en dedans et en dehors du milieu : ce sera suivant une direction perpendiculaire à l'onde émergente qu'on verra l'image du point de mire.

Mais lorsque ce point est assez rapproché et la double réfraction assez forte, il devient nécessaire de connaître la loi de courbure des ondes lumineuses dans l'intérieur du cristal, c'est-à-dire, l'équation de leur surface, pour calculer les directions suivant lesquelles on verra les deux images du point de mire au travers du cristal. Il résulte du principe de la composition des petits mouvemens que tout plan tangent à la surface de l'onde (supposée tout entière dans le même milieu) doit être distant de son centre d'une quantité égale à l'espace parcouru au même instant par une onde plane indéfinie, partie de ce point à l'origine du mouvement, et parallèle à l'élément de l'onde courbe situé dans le plan tangent. Or, ces espaces parcourus par des ondes planes indéfinies, comptés perpendiculairement à leur surface, sont proportionnels, pour toutes les directions, au plus grand et au plus petit rayon vecteur des sections diamétrales de la surface d'élasticité parallèles à ces ondes planes. L'équation du plan sécant étant $z = mx + ny$,

le plus grand et le plus petit rayon vecteur de la section sont donnés par la relation suivante:

$$(a^2-v^2)(c^2-v^2)n^2+(b^2-v^2)(c^2-v^2)m^2$$
$$+(a^2-v^2)(b^2-v^2)=o,$$

dans laquelle $v$ représente à la fois le plus grand et le plus petit rayon vecteur. Ainsi la surface de l'onde courbe est touchée par chaque plan parallèle au plan sécant et distant de l'origine d'une quantité égale à la valeur de $v$ tirée de l'équation ci-dessus. Or, cette condition est satisfaite par l'équation suivante, qui est conséquemment celle de la surface de l'onde:

$$(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)(x^2+y^2+z^2)-a^2(b^2+c^2)x^2$$
$$-b^2(a^2+c^2)y^2-c^2(a^2+b^2)z^2+a^2b^2c^2=o.$$

Si dans la construction que Huygens a donnée pour déterminer la direction des rayons réfractés par le spath d'Islande, et qui peut s'appliquer à toute forme d'onde, on substitue à la sphère et à l'ellipsoïde de révolution la surface à deux nappes représentée par cette dernière équation, et qu'on opère d'ailleurs de la même manière, on aura deux plans tangens dont les points de contact, joints au centre de l'onde, donneront la direction du *rayon ordinaire* et du *rayon extraordinaire*.

Lorsque deux des axes d'élasticité sont égaux, $b$ et $c$, par exemple, cette équation peut être mise sous la forme,

$$(x^2+y^2+z^2-b^2)(a^2x^2+b^2(y^2+z^2)-a^2b^2)=o,$$

qui est le produit de l'équation d'une sphère par celle d'un ellipsoïde de révolution. Alors les deux sections circulaires de la surface d'élasticité se confondent avec le plan $yz$, et les deux axes optiques avec l'axe des $x$:

c'est le cas des cristaux *à un axe*, tels que le spath calcaire. Mais quand les trois axes sont inégaux, l'équation générale n'est plus décomposable en facteurs rationnels du second degré.

La surface des ondes lumineuses dans les cristaux pour lesquels $a$, $b$ et $c$ sont inégaux, peut être engendrée par une construction très-simple, qui établit une relation immédiate entre la longueur et la direction de ses rayons vecteurs. Si l'on conçoit un ellipsoïde ayant les mêmes demi-axes $a$, $b$ et $c$, et si, l'ayant coupé par un plan diamétral quelconque, on élève sur ce plan, au centre de l'ellipsoïde, une perpendiculaire égale au plus petit ou au plus grand rayon vecteur de la section, l'extrémité de cette perpendiculaire appartiendra à la surface de l'onde, ou, en d'autres termes, la longueur de cette perpendiculaire sera celle du rayon vecteur correspondant de la surface de l'onde, et donnera ainsi la vitesse des *rayons lumineux* qui se propagent dans cette direction; car ces rayons vecteurs doivent présenter effectivement, d'après la théorie des ondes, tous les caractères optiques qu'on attache au mot *rayon lumineux*. C'est un principe que nous ne pourrions pas démontrer sans entrer dans des détails un peu longs, mais qu'il était nécessaire d'énoncer ici pour faciliter la traduction des conséquences de la théorie des ondes dans le langage mieux connu du système de l'émission.

Si l'on divise l'unité par les carrés des deux demi-axes d'une section diamétrale de l'ellipsoïde, la différence entre ces quotiens est proportionnelle au produit des sinus des angles que la perpendiculaire à cette section fait avec les deux normales aux plans des sections circulaires, c'est-

à-dire, avec les deux axes optiques (1) du cristal. Cette conséquence de la théorie des ondes traduite dans le langage de l'émission, où les rapports des vitesses attribuées aux rayons sont inverses, est précisément la loi de la différence des carrés des vitesses que M. Brewster avait déduite de ses expériences, et qui avait été confirmée depuis par celles de M. Biot, auquel on doit la forme simple du produit des deux sinus.

La règle que M. Biot avait donnée pour déterminer la direction des plans de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires s'accorde aussi avec la construction que nous venons d'énoncer, ou du moins la légère différence qu'on remarquera en y réfléchissant, ne paraît pas susceptible d'être saisie par l'observation. Ainsi l'exactitude de cette construction se trouve établie à la fois par les expériences antérieures de M. Brewster et de M. Biot, et les nouvelles observations que j'ai faites pour la vérifier.

La théorie de la double réfraction dont nous avons exposé dans cet extrait les principaux résultats, et la construction si simple qu'on en déduit, présentent ce caractère remarquable que toutes les inconnues sont déterminées en même temps par la solution du problème. On

---

(1) Les plans des sections circulaires de l'ellipsoïde et de la surface d'élasticité ne coïncident pas rigoureusement, et par conséquent les normales à ces plans diffèrent un peu, mais d'un angle qui est très-petit pour tous les cristaux à deux axes connus jusqu'à présent : on peut également donner le nom d'*axe optique* à l'une ou l'autre de ces normales.

trouve à la fois la vitesse du rayon ordinaire, celle du rayon extraordinaire, et leurs plans de polarisation. Les physiciens qui ont souvent réfléchi sur les lois de la nature, sentiront que cette simplicité et ces relations intimes entre les diverses parties du phénomène offrent de grandes probabilités en faveur de la théorie qui les établit.

Long-temps avant de l'avoir conçue, et par la seule méditation des faits, j'avais senti qu'on ne pouvait découvrir la véritable explication de la double réfraction sans expliquer en même temps le phénomène de la polarisation, qui l'accompagne constamment : aussi est-ce après avoir trouvé quel mode de vibration constituait la polarisation de la lumière, que j'ai entrevu sur-le-champ les causes mécaniques de la double réfraction. Il me semblait encore plus évident que les vitesses des faisceaux ordinaire et extraordinaire devaient être, en quelque sorte, les deux racines d'une même équation; et je n'ai jamais pu admettre un seul instant l'explication d'après laquelle ce serait deux milieux différens, le corps réfringent, par exemple, et l'éther qu'il renferme, qui transmettraient, l'un les ondes extraordinaires et l'autre les ondes ordinaires; et en effet, si ces deux milieux pouvaient transmettre séparément les ondes lumineuses, on ne voit pas pourquoi les deux vitesses de propagation seraient rigoureusement égales dans la plupart des corps réfringens, et pourquoi des prismes de verre, d'eau, d'alcool, etc., ne diviseraient pas aussi la lumière en deux faisceaux distincts.

Dans le Mémoire dont je viens de donner un extrait (que j'aurais desiré pouvoir développer davan-

tage), j'explique aussi par la même théorie pourquoi la réfraction d'un milieu homogène ne divise jamais la lumière en trois ou quatre faisceaux, mais seulement en deux, et pourquoi il ne peut pas y avoir plus de deux axes optiques dans les cristaux, du moins tant que les trois axes d'élasticité de chacun des points du milieu réfringent sont parallèles dans toute son étendue ; ce qui doit avoir lieu quand les lignes ou les faces homologues de ses molécules sont parallèles. Il semblerait au premier abord que ce parallélisme doit être le résultat constant d'une cristallisation régulière : cependant des corps parfaitement cristallisés, tels que le cristal de roche, présentent des phénomènes optiques qu'on ne peut concilier avec le parallélisme complet des lignes moléculaires, et qui sembleraient indiquer une déviation progressive et régulière de ces lignes dans le passage d'une tranche du milieu à la tranche suivante. On conçoit, en effet, outre le cas du parallélisme, une foule d'autres arrangemens moléculaires qui conserveraient au corps tous les caractères de l'homogénité et d'une organisation régulière. Mais je n'ai calculé jusqu'à présent les lois de la réfraction que pour le cas particulier où les axes d'élasticité ont la même direction dans chaque point du milieu vibrant.

---

## SUR *certains Mouvemens produits dans les liquides conducteurs, lorsqu'ils transmettent le courant électrique.*

PAR J. F. W. HERSCHEL.

AYANT eu occasion, dans le cours de quelques recherches sur l'action décomposante de la pile voltaïque, d'électriser le mercure en contact avec différentes solutions salines, je fus surpris de remarquer des mouvemens qui se manifestaient dans le métal fluide d'une manière violente et en apparence capricieuse, et pour lesquels, après avoir opéré uniformément avec un pouvoir électrique très-faible, je n'aperçus aucune cause satisfaisante. Le mercure était fréquemment agité par des tressaillemens convulsifs; quelquefois il s'y formait des courans et des jets d'une grande violence, d'autres fois il s'étendait, s'allongeait en se ramifiant dans les formes les plus irrégulières, et présentait en même temps des apparences d'une nature si bizarre qu'elles m'engagèrent à faire des expériences dans le dessein de déterminer leurs causes, ou du moins les circonstances essentielles à leur reproduction.

Les singulières agitations convulsives qu'éprouve le mercure dans le circuit d'une puissante batterie voltaïque déchargée à travers l'eau, ont été remarquées par sir H. Davy, dans ses *Elémens de Philosophie chimique*. L'eau pure cependant est un conducteur si imparfait qu'il faut employer de grands pouvoirs voltaïques; les phénomènes sont alors trop irréguliers et les agitations trop violentes pour qu'on puisse les analyser. C'est

seulement lorsque les liquides qui conduisent bien sont employés pour former le circuit, qu'ils deviennent réguliers, et que l'on peut les étudier à loisir sous l'influence d'une énergie électrique modérée.

Si une quantité de mercure très-pur, parfaitement net et débarrassé de toute pellicule superficielle, est placée dans un vase évaporatoire de terre de Wedgewood (qui doit être aussi très-propre), et couvert d'un quart de pouce d'acide sulfurique concentré, et que les extrémités de deux fils de platine en connexion avec les poles d'un appareil voltaïque soient immergés *dans l'acide seulement*, aux côtés opposés du mercure, mais non en contact avec lui, il se manifestera immédiatement dans l'acide une circulation rapide due à un courant violent qui s'établit entre les deux fils, et qui traverse directement le mercure dans la direction du pole négatif au pole positif. Ce courant se maintient constamment, sans aucun changement dans sa direction et dans sa force, pendant tout le temps que la pile reste en activité, et enfin ne cesse que lorsque son énergie est entièrement épuisée. Le mercure n'est pas sensiblement terni ou attaqué, ni l'acide altéré, à l'exception d'une portion insignifiante qui a été décomposée, et d'une petite quantité de mercure qui a été dissoute.

Si l'on examine les phénomènes plus attentivement, on observe que les parties de l'acide en contact immédiat *avec le mercure* sont celles qui se meuvent avec plus d'activité, étant lancées sur la surface avec une violence surprenante; celles au-dessus paraissent plutôt entraînées que poussées par aucune force agissant direc-

tement sur elles. On apercevra aussi que si l'on met quelque distance entre les deux fils et les bords du mercure, le courant sera resserré, et la circulation s'établira dans le voisinage immédiat du mercure *seulement*, le liquide environnant les fils étant presque entièrement en repos.

Si le centre du globule ou disque de mercure est placé sur une ligne droite avec les extrémités des fils, le courant s'établira diamétralement en travers ; mais si cette condition n'est pas remplie, le courant suivra une curviligne dont chaque filament élémentaire, ayant une courbure différente, traversera le mercure dans une direction ayant une origine et une fin communes, à savoir les points (*z*) et (*c*) de ses surfaces plus près respectivement des poles négatifs et positifs.

Si le globule de mercure est d'une grosseur considérable (de quatre ou cinq cents grains, par exemple), on le verra s'allonger, dans la direction de ses axes, vers le fil négatif, et s'il en est assez près, il l'atteindra et s'amalgamera avec lui. Mais si le globule est petit, toute la masse se mettra en mouvement avec plus ou moins de rapidité, comme si elle était attirée par le fil négatif : cette attraction apparente est souvent très-énergique, le globule se mouvant avec une grande vélocité vers le fil négatif auquel il adhère immédiatement. Si les fils forment un triangle avec la situation du globule qui est en repos, le dernier n'avance ni directement vers le fil négatif ni directement du pole positif ; mais dans une direction oblique aux deux, en approchant du fil négatif dans une spirale, et en décrivant fréquemment plusieurs révolutions avec une vélocité croissante avant de tomber finalement sur lui et de s'y

amalgamer, comme un corps sollicité à la fois par une force attractive dirigée vers le fil négatif et une force répulsive provenant du fil positif.

Ces attractions et répulsions apparentes, cet allongement des grandes masses de mercure et le mouvement corporel des petites masses vers le pole négatif, ne sont réellement que les effets secondaires ; leur cause immédiate, ainsi que celle des courans dans l'acide environnant, sera découverte par une attention plus fixée à ce qui se passe dans le mercure même lorsqu'il est sous l'influence de l'action électrique.

A cette fin, si l'on opère sur une masse considérable de mercure, et qu'au lieu de le recouvrir avec l'acide on l'en humecte, ainsi que le vaisseau qui le contient ; et que l'on fasse le circuit comme précédemment, et seulement par le moyen de la mince couche d'acide qui y adhère, la circulation du mercure ne sera pas moins violente ; mais il sera alors évident que l'origine du mouvement est, dans le mercure même, la membrane acide (en ce qui concerne l'impulsion mécanique), purement passive et entraînée par son adhérence au mercure, le couvrant fréquemment d'une couche assez mince pour réfléchir les couleurs irisées sur toute sa surface, ce qui rend le phénomène extrêmement beau. Le mouvement du mercure consiste dans une radiation continuelle de ses molécules superficielles, du point le plus près du pole négatif par lequel il est maintenu dans un état constant de circulation : chaque particule étant poussée, le long de la surface, du pole négatif au pole positif, et retournant le long de l'axe. Si le mercure était isolé du fond du vaisseau qui le contient, et dé-

pourvu d'adhésion pour le liquide, le *momentum* des portions allant et de celles retournant serait égal, et le centre de gravité de toute la masse resterait en repos. Mais à cause de la friction et de l'adhésion du fluide métallique pour le vase et le liquide, ceux-ci réagissent sur le globule dans une direction contraire à celle des courans superficiels, et conséquemment le centre de gravité avance dans cette direction vers le pole négatif. Lorsque ce mouvement ne peut avoir lieu, le courant intérieur n'ayant qu'une direction uniforme, se fait un passage vers le pole négatif en tournant et allongeant la figure du mercure en proportion de son énergie. Si le métal est oxidé, de manière à donner une certaine tenacité à la membrane superficielle, les courans poursuivent leur course au-dessous, et le fluide surnageant, étant ainsi défendu de leur action, reste en repos. Dans ce cas, la seule indication de leur existence est la protubérance produite par les courans intérieurs qui en résultent.

Nombre d'apparences singulières sont expliquées par ce courant intérieur. Dans quelques cas, le mercure laisse apercevoir des projections ou protubérances d'une longueur extraordinaire qui prennent la direction du fil électrisé et suivent tous ses mouvemens. Le courant intérieur qui en résulte est dans ce cas dirigé le long de l'axe de l'éminence, depuis son origine jusqu'à son extrémité : ce qui est alors une indication d'une radiation très-puissante le long de sa surface dans une direction opposée. Dans d'autres cas, le mercure s'aplatit dans toute son étendue, et lorsque cela arrive, il est toujours couvert d'une couche épaisse d'oxide. Alors, les courans super-

ficiels tendent de la circonférence vers le centre de la masse aplatie, et le courant intérieur part du centre dans toutes sortes de directions dans un plan horizontal, forçant ainsi continuellement la circonférence à s'étendre de plus en plus, en diminuant le rayon de courbure de la section verticale de ses bords.

On peut prouver évidemment, en substituant un bassin de verre à un bassin de Wedgewood, que le frottement contre le vaisseau est la cause principale de l'attraction apparente du globule de mercure vers l'extrémité négative. Dans ce cas, les courans sont produits comme ci-devant; mais quoiqu'ils soient également puissans, le globule montre peu ou point de tendance au mouvement, et s'il est placé sur une plaque de verre usée à l'émeri ou sur toute autre surface non polie, il se mouvra avec une grande rapidité; et même sa tendance vers le pole négatif est si forte que des globules d'une grandeur considérable peuvent ainsi être soutenus, sans le contact de l'un ou l'autre fil, sur des surfaces inclinées de plusieurs degrés à l'horizon.

Il est essentiel, pour la production des mouvemens dont il est question, que le mercure soit en contact et en libre communication avec l'acide, et qu'il soit placé dans le rayon d'influence du courant électrique. Il n'est cependant pas nécessaire que l'acide s'étende du fil positif au fil négatif; les mouvemens se manifesteront dans tout circuit interrompu du mercure et du liquide environnant. L'expérience est cependant difficile à faire dans l'acide sulfurique, dont l'attraction capillaire pour le mercure est telle que la plus petite goutte, appliquée sur une partie quelconque d'une surface propre de ce

billons électro-magnétiques observés dans les métaux fluides; mais en présentant des aimans très-puissans au mercure, dans diverses positions, pendant qu'il était dans les circonstances ci-dessus décrites, je n'ai jamais pu m'apercevoir qu'ils aient exercé aucune influence ni pour accélérer, ni pour retarder ou faire dévier les courans, et cependant ceux-ci sont incomparablement plus puissans en proportion de l'énergie électrique employée, que les mouvemens produits par l'action des aimans.

En conséquence de cette énergie supérieure d'action, les phénomènes qui font le sujet de ce Mémoire fournissent une preuve, peut-être la plus sensible connue encore, du développement d'un faible pouvoir voltaïque. J'ai construit une petite batterie de fils de zinc et de cuivre tortillés ensemble, chaque paire ayant deux pouces de long depuis le point de leur jonction et les fils $\frac{1}{30}$ de pouce d'épaisseur. Dix paires de ces fils excités par de l'acide nitrique extrêmement faible, ont déterminé une rotation rapide dans le mercure interposé au-dessous de l'acide sulfurique entre les deux poles, et une marche régulière des globules de ce métal vers le pole négatif. La rotation a continué avec une force considérable, quoique les fils fussent retirés de manière à n'avoir que leurs extrémités en contact avec le liquide des auges, cas auquel la surface exposée par chaque paire à l'action de l'acide ne pouvait excéder $\frac{1}{50}$ de pouce carré. Cette indication est même si délicate que l'électricité développée en mettant les extrémités d'un fil mince de zinc et de cuivre en contact avec un verre simplement humecté à l'aide de l'acide faible dont on vient de parler, est très-suffisante pour déterminer une rota-

tion immédiate non équivoque dans une once ou deux de mercure exposé convenablement à son action. Par ce moyen, on peut mettre en évidence le plus faible développement électrique. J'ai rendu ainsi sensible d'une manière frappante l'électricité développée par une simple différence dans l'état de la surface de deux petites portions de fil de cuivre de la même bobine (l'une étant un peu plus propre que l'autre), chacun d'eux n'étant pas immergé de plus d'un pouce de longueur; ou celle mise en mouvement par un fil de cuivre et un fil de zinc tenus près l'un de l'autre et plongés dans de l'eau de pompe commune; intensité qu'il n'est point aisé de rendre sensible par d'autres moyens. Il ne suffit point cependant, pour le succès de ces expériences, de plonger les extrémités des fils conducteurs au-dessous de l'acide sulfurique. Les surfaces de contact exigent d'être beaucoup augmentées pour assurer la transmission de toute l'électricité développée. Le meilleur moyen est de les immerger dans des bains profonds de mercure au-dessous de l'acide, un de chaque côté du globule qui doit être mis en rotation (1).

---

(1) L'efficacité d'une augmentation de surface pour transmettre l'électricité dans un liquide est remarquable. En mettant le pole positif en contact avec une grande surface de mercure, ou encore mieux d'un amalgame de mercure et de zinc, sur laquelle on met une solution saline, la réduction des métaux, des alcalis et des terres à l'autre pole s'effectue avec une facilité qu'on aurait de la peine à croire si on n'en faisait l'épreuve. On peut de cette manière décomposer l'ammoniaque avec trois paires de plaques des dimensions indiquées ci-dessus, très-modérément excitées.

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que les mouvemens engendrés lorsqu'un courant d'électricité est transmis sur le mercure à travers l'acide sulfurique. En employant d'autres liquides conducteurs et d'autres corps métalliques, il se produit des phénomènes du même genre, mais tellement modifiés par la nature des substances employées, par l'intensité du pouvoir électrique et la manière de conduire les expériences, qu'elles en sont extrêmement fatigantes; et je dois avertir le lecteur qui voudrait les répéter, qu'il doit s'attendre à les voir manquer fréquemment, ou même donner des résultats contraires à ceux que je vais décrire, et cela par des causes qu'il n'est point aisé de découvrir. La principale est l'impureté du mercure, et on n'en doit point employer qui n'ait été soigneusement distillé et bien lavé avec de l'acide nitrique affaibli. J'ai été long-temps avant de découvrir cette nécessité; et l'ignorance d'une condition aussi essentielle m'a jeté dans une série de répétitions fastidieuses et décourageantes de chaque expérience, tellement que j'ai été sur le point d'abandonner le sujet, obtenant des résultats contraires en opérant, comme je le supposais alors, d'une manière tout-à-fait semblable.

Lorsque le mercure, ainsi purifié et parfaitement propre, est placé dans un liquide conducteur quelconque, et que le circuit est formé sans mettre aucun des poles en contact avec le métal, les phénomènes varient selon la nature du liquide; mais, généralement parlant, l'effet est la production de courans plus ou moins violens, rayonnant du point le plus près du pole négatif. Dans les acides, et particulièrement dans les plus puissans et les plus concentrés, et qui sont en même temps bons

conducteurs de l'électricité, ces mouvemens sont décidés et violens. Leur force est moindre dans les dissolutions salines à proportion que l'énergie électro-positive de la base est plus grande. Ainsi, dans les sels à base de potasse ils sont faibles, et souvent on ne les aperçoit que par un tressaillement momentané du mercure lorsque le circuit est complété. Dans les sels de soude, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et de chaux, ils sont plus distincts, et plus encore dans ceux de magnésie, d'alumine et des oxides métalliques. D'un autre côté, dans des solutions des alcalis purs et des terres alcalines, le mercure reste parfaitement en repos, ou du moins il n'est agité que par des mouvemens faibles et irréguliers, dépendant de causes que je ne considère pas dans ce moment.

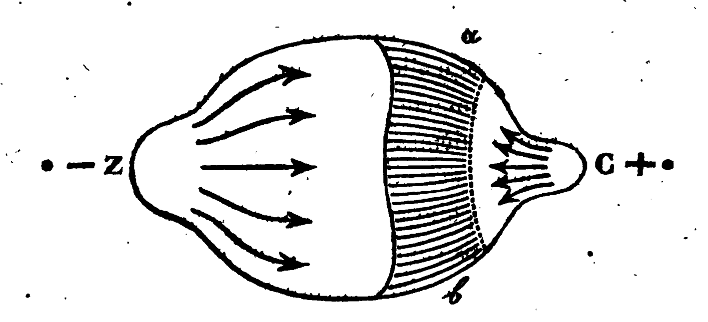
Dans plusieurs liquides, et spécialement dans les solutions des nitrates, il se forme non-seulement un courant rayonnant du pole négatif, mais aussi un autre rayonnant du pole positif, qui même, dans certains cas, l'emporte sur le premier. Ces deux courans coexistent dans le mercure; et en conséquence de leur action, il se forme dans le globule de mercure une zone d'équilibre, plus près de l'un ou de l'autre pole, selon que le courant contraire est plus ou moins violent. Le meilleur moyen de rendre sensible l'influence de ces contre-courans est d'opérer sur une grande quantité de mercure, au-dessous de dissolutions affaiblies, et en tenant le pole négatif éloigné, et le positif très-près. De cette manière, il y a très-peu de liquides qui, lorsque la pile est énergique, ne montrent des signes d'un contre-courant venant du pole positif. La cause en deviendra

évidente lorsque nous parlerons de l'action des alliages métalliques.

Si l'un des poles est mis en contact avec le mercure, on n'observe aucun courant partant du point de contact (du moins lorsque le mercure est propre et le contact parfait) ; mais il y en a un très-violent de produit, rayonnant de l'autre pole. Si c'est le fil négatif qui touche le mercure, il s'amalgame avec ce métal, qui reste brillant, et les courans rayonnans du pole positif sont visibles à l'œil nu et sont généralement puissans. Si c'est au contraire le fil positif qui est mis en contact avec le mercure, l'oxidation de la surface métallique est ordinairement si rapide, qu'elle empêche les courans d'être visibles ; mais un tressaillement momentané venant du pole négatif, l'aplatissement du globule et les protubérances qu'il laisse apercevoir, indiquent suffisamment leur existence au-dessous de la croûte d'oxide. Néanmoins, lorsque l'oxidation n'a pas lieu ou qu'on l'empêche par l'addition de quelques gouttes d'acide nitrique affaibli, les courans partant du fil négatif sont aussi apparens que ceux du pole positif qu'on vient de citer.

Mais ce ne sont pas là les seuls effets produits par le contact avec les fils électrisés. En interrompant les contacts et complétant le circuit dans le liquide, on trouve presque toujours que le mercure a acquis de nouvelles propriétés, ou du moins perdu quelques-unes des siennes. Un globule de mercure pur, du poids de 4 à 500 grains, étant introduit dans une dissolution de sulfate de soude, et le circuit étant complété dans le liquide sans mettre aucun pole en contact avec le mercure, il s'est produit un courant du fil négatif. Un

contact momentané ayant été établi avec ce fil, et le circuit complété comme avant dans le liquide, il s'est établi un contre-courant du pole positif, moins étendu, mais en apparence plus violent dans son action que celui du pole négatif. En conséquence, le globule a acquis la figure ci-jointe, ayant une élongation obtuse en *Z*, le point le plus près du pole négatif, et une plus pointue en *C*, près du pole positif, avec une espèce d'épaulement en *ab*. La couche d'oxide produite en *Z* était ainsi balayée vers *C*; mais elle n'atteignait jamais au-delà de la zone *ab*, où elle restait stationnaire et constante en quantité, étant absorbée vers le bord près de *C* aussi vite qu'elle était produite à l'autre.




On a ensuite établi un autre contact de courte durée avec le fil négatif, et, en le rompant, les courans de *C* ont été trouvés augmentés en force et en étendue, pendant que ceux de *Z* étaient proportionnellement affaiblis, la zone d'équilibre *ab* étant portée plus près de *Z*. Par un autre contact prolongé de peu de secondes, les courans négatifs étaient rassemblés dans un très-petit espace vers *Z*; et en prolongeant le contact un peu plus

long-temps, son influence était entièrement détruite, et il s'établissait une circulation régulière du fil positif au pole négatif, à travers tout le globule.

Mais les effets ne s'arrêtaient pas là. En faisant durer le contact un temps considérable, les courans négatifs (de *Z*) étaient non-seulement détruits, mais changés en une autre direction contraire, c'est-à-dire, rayonnant dans toutes sortes de directions vers *Z*, les particules de mercure paraissant attirées vers ce point avec une force égale ou supérieure à celle avec laquelle ils étaient repoussés de *C*. Le pole positif étant tenu à quelque distance, et le négatif directement sur la surface, on a observé qu'il se rassemblait directement au-dessous, sur le mercure, une écume ou impureté, en forme d'une petite tache circulaire qui suivait exactement ses mouvemens; et lorsqu'elle était enlevée, le fluide métallique était violemment poussé vers le fil, en un jet de deux ou trois dixièmes de pouce de hauteur.

Le mercure a été mis ensuite en contact avec le fil positif. On n'a point observé d'oxidation sur sa surface pendant un temps considérable, durant lequel des courans violens continuaient encore à rayonner dans toutes sortes de directions du fil et *vers* le point *Z* (ou dans une direction opposée à celle qu'ils auraient prise dans le mercure s'il n'avait pas été touché par le fil). Par degrés cependant, il s'est établi une contre-radiation opposée au pole négatif, dont la sphère était d'abord très-limitée, mais qui s'est graduellement étendue en produisant une zone d'équilibre qui s'avançait rapidement vers le fil positif, et qui enfin l'a atteint. Au même instant où cela a eu lieu, l'oxidation du mercure a com-

mencé en *Z*, et s'est étendue rapidement sur toute la surface, formant une croûte épaisse.

Si le contact du fil positif était continué assez long-temps, le mercure, débarrassé de sa croûte, était réduit à son premier état, comme s'il venait seulement d'être introduit; mais si le contact était interrompu aussitôt que la croûte était entièrement formée, il se produisait une radiation du fil négatif, qui brisait la croûte et la balayait vers *C*, où elle se rassemblait et se dissipait. Mais au moment où cela arriva, et lorsque la surface du mercure se trouva entièrement éclaircie, elle s'arrêta un instant; une violente révulsion eut lieu, et un courant puissant partit de *C*, celui de *Z* étant anéanti.

Ces effets observés pour la première fois (non réunis et en succession, comme on le suppose ici, mais peu à peu) parurent extrêmement embarrassans; mais on ne tarda pas à en trouver la clé. J'observai que l'effet d'un contact du pole négatif était, proportionnellement, d'autant plus fort pour produire la radiation positive, que le mercure avait circulé plus long-temps, avant d'établir le contact; et après un examen plus attentif, je trouvai que le fil de platine qui terminait le conducteur négatif de la pile s'était amalgamé avec un peu de mercure, qui, durant le temps que le circuit était complété dans le liquide, s'était allié au sodium, et l'effet parut toujours être en proportion avec la quantité de ce métal qu'on pourrait juger s'être produite. Je ne balançai pas, par conséquent, à attribuer toutes les nouvelles propriétés acquises par le mercure à la présence du sodium, et en introduisant dans une certaine quantité de mercure pur une petite quantité d'amalgame de sodium préparé à

dessein, je trouvai ma supposition vérifiée; une violente rotation négative se produisit immédiatement au moment où le circuit fut complété, quoique je n'eusse permis à aucun des fils de toucher le mercure.

La présence de ce métal si éminemment électro-positif, contre-balance donc l'effet du pole négatif, et exalte celui du pole positif, proportionnellement à sa quantité, jusqu'à ce qu'enfin il le surpasse entièrement, et même renverse le premier effet. Comme la quantité de sodium de l'alliage, dans l'expérience précédente, diminuait par l'action oxidante du pole positif, le mercure, comme nous l'avons vu, reprenait par degrés ses propriétés primitives. Le seul effet qui puisse paraître obscur est la révulsion remarquée dans la direction des courans, lorsque la dernière portion d'oxide disparaît. C'est dans le fait un phénomène très-compliqué, mais on en peut donner une explication facile. L'oxidation a lieu sur la surface du métal avant que les dernières portions de sodium soient enlevées; et il est aisé de le prouver. Nous n'avons qu'à détruire entièrement le circuit, et la croûte d'oxide disparaîtra graduellement (à moins qu'on ne la laisse aller trop loin), étant réduite par le sodium qui est au-dessous. Sans la croûte d'oxide, les courans, comme on l'a vu, seraient dans une direction positive; mais l'oxide agissant sur la couche de molécules métalliques, immédiatement au-dessous de lui, les prive de leur sodium qu'il change en alcali, laissant une couche de mercure pur. Maintenant nous avons vu que dans *celui-ci*, la rotation, dans les circonstances de l'expérience, aurait une direction négative. Nous n'avons donc qu'à admettre que l'action particulière par laquelle les rotations sont pro-

duites est bornée à la surface commune du mercure et du liquide, pour avoir une idée parfaite de la manière dont tout s'opère. La couche de mercure pur sur la surface est déplacée par un courant négatif, conformément à ses relations naturelles, et remplacée immédiatement par une couche de mercure alliée de sodium, de l'intérieur; celle-ci, à son tour, est privée de sodium par l'oxide en contact avec elle, et est immédiatement déplacée comme la précédente, et ainsi successivement jusqu'à ce que toute la croûte d'oxide soit épuisée ou balayée : alors le mercure restant, retenant encore un excès de sodium, et rendu instantanément homogène, est attaqué comme un alliage, de la manière déjà décrite.

Que le sodium existe dans le mercure lorsqu'il a acquis la propriété de produire des courans venant du pole positif (que, pour abréger, j'appellerai dorénavant *propriété positive*) par son contact avec le fil négatif, c'est ce qu'on peut montrer par une expérience simple et intéressante. Si l'on détache le fil négatif et que l'on rompe le circuit, le mercure reste tranquille au fond du vaisseau, à l'exception d'un léger mouvement irrégulier à sa surface, et de quelques petites bulles de gaz qui se dégagent de temps en temps. Maintenant touchez-le, sous le liquide, avec un fil métallique quelconque (pourvu que ses extrémités ne soient pas alliées avec le sodium), et une action violente commencera à l'instant. Le mercure se précipite de tous côtés vers le fil en un courant superficiel, comme pour se débarrasser de son sodium, et il se dégage du fil une quantité abondante d'hydrogène, non-seulement au point de contact avec le mercure, mais à tous ceux où il touche le liquide. En un mot,

le sodium, le fil et le liquide forment une combinaison voltaïque, et l'électricité produite par le contact est assez puissante pour décomposer la portion aqueuse du dernier en grande abondance. L'action dure plus ou moins de temps, selon que le mercure est plus ou moins chargé de sodium (rarement cependant plus de 10 à 12 secondes), et lorsqu'elle est terminée, le mercure a perdu sa propriété positive, et se trouve réduit à son ancien état (pourvu que le contact soit fait avec le cuivre ou le platine), ce qu'une longue immersion dans le fluide sans un tel contact n'aurait pas entièrement effectué.

Si le mercure, ainsi chargé de sodium, n'est point tout-à-fait couvert de liquide, et que le contact métallique soit établi vers le sommet du globule, hors du liquide, aucun effet n'est produit; mais si l'autre extrémité du fil métallique est courbée en rond et mise en contact avec le liquide, à quelque distance du mercure, l'action violente décrite ci-dessus commence aussitôt; avec cette différence que *maintenant* la surface du mercure est radiée dans toutes les directions du point de contact à la circonférence du globule, et que l'hydrogène se dégage en totalité à l'autre extrémité du fil dans l'endroit où il touche le liquide. Une petite considération suffira cependant pour montrer que ces deux effets sont une pure modification d'un seul. Ce n'est pas du fil ou vers le fil, comme tel, que les particules superficielles rayonnent; elles suivent simplement la direction des courans électriques prédominans dans leur passage *à travers le liquide*. C'est, dans le fait, la source de l'électricité positive, qui se trouve dans le mercure

lui-même, au lieu de lui être communiquée d'une pile, à une certaine distance.

Ayant ainsi tracé distinctement l'altération des effets mécaniques, par le contact avec le pole négatif, jusqu'au moment où le mercure s'amalgame avec le sodium, la connaissance de ce fait me conduisit à rechercher plus minutieusement les effets de différens métaux, dans leur contact et leur amalgamation avec le mercure, et les résultats que j'ai obtenus dans le cours de ces recherches me paraissent si remarquables que je ne puis m'empêcher d'en parler, surtout parce qu'ils donnent l'explication de presque toutes les anomalies qui m'embarrassèrent dans le commencement de mon travail. Pour rendre les effets moins sujets à objection, comme aussi plus distincts et plus frappans, j'ai employé, pour liquide conducteur, des solutions de potasse ou de soude fortement imprégnées d'alcali caustique. Cela donne à la fois l'avantage d'un très-grand pouvoir conducteur, et de ne point produire de courans quelconques dans le mercure, aucun pole n'étant mis en contact avec lui. Quels que soient les mouvemens qui prendront naissance en introduisant un nouveau métal, on devra naturellement les attribuer à sa présence, et le mercure pourra être regardé comme purement passif, du moins en ce qui regarde l'action mécanique.

*Potassium*. Des contacts répétés d'une seconde avec le pole négatif d'une pile de huit paires, en faible action, au-dessous de la potasse liquide, ont donné à 100 grains de mercure la propriété de tourner violemment du pole positif au pole négatif, le circuit étant complété dans le liquide seulement. Le mouvement de rotation était

puissant lorsque l'alliage était délayé dans plus de 100 grains de mercure pur, et était encore sensible après l'addition d'une autre quantité égale. Dans ce dernier cas, la quantité de potassium existante pouvait à peine être estimée au millionième de toute la masse.

*Sodium.* J'ai électrisé au-dessous d'une solution de soude 100 grains de mercure pendant 80 secondes, avec l'appareil voltaïque ci-dessus, le mercure étant en contact avec le fil négatif. Le mercure a ensuite été lavé promptement et introduit sous une petite cloche de verre avec de l'acide hydrochlorique, qui a dégagé un volume d'hydrogène pur, égal aux 0,95 de celui du mercure. Conséquemment il contenait moins de $\frac{1}{50}$ de grain de sodium; et comme avec d'aussi petites quantités la production de l'alliage métallique doit se faire uniformément, un contact d'une seconde aurait produit seulement $\frac{1}{80}$ de la totalité du sodium, ou $\frac{1}{4000}$ de grain, c'est-à-dire, $\frac{1}{400000}$ de toute la masse. Cela posé, on a établi un contact d'une seconde de durée, dans des circonstances semblables, avec 100 grains de nouveau mercure, et celui-ci a acquis un mouvement puissant de rotation. Délayé maintenant avec une quantité égale de mercure pur, ce qui réduisait le sodium à la proportion de $\frac{1}{400000}$, la rotation était affaiblie, mais était encore pleine et distincte. Délayé de nouveau avec 100 grains de mercure, de manière que la proportion du sodium n'était plus que de $\frac{1}{1200000}$, on observait encore une radiation considérable du pole positif, mais ne s'étendant pas sur toute la surface. Enfin, en réduisant la proportion à $\frac{1}{1600000}$ par l'addition d'une nouvelle quantité

de mercure, on observait encore une faible radiation dans la même direction.

*Ammonium.* Une quantité considérable de l'amalgame de cette singulière substance, introduite dans le mercure au-dessous d'une solution de soude, *ne lui a communiqué aucun mouvement de rotation.* Ce résultat remarquable, qui tend à séparer l'ammonium par un caractère défini des autres bases métalliques des alcalis, s'est reproduit dans une nouvelle expérience. Il serait possible qu'une complète insolubilité de l'amalgame dans le mercure pur fût la cause de ce manque d'action, mais la supposition pourrait être regardée comme forcée.

*Barium.* Ce corps métallique s'amalgame avec la plus grande rapidité en employant huit paires et le muriate de baryte. Un petit globule de mercure placé au fil négatif pousse de belles arborisations et se fige en un amalgame solide, presque permanent, très-cristallin. Une très-petite quantité de cet alliage introduite dans le mercure, au-dessous d'une solution de soude, lui donne la propriété positive. Son efficacité à renverser la direction des courans est extrêmement sensible lorsqu'il est introduit dans une quantité de mercure tenu dans un état de rotation négative au-dessous de l'acide oxalique. L'amalgame de mercure et de barium ajouté en petite quantité à du mercure pur, lui donne la même propriété que nous avons fait remarquer dans le cas du sodium, de former une combinaison voltaïque avec un fil mis en contact avec lui, au-dessous d'une solution saline, et l'action ainsi produite est beaucoup plus durable.

*Strontium, calcium.* Ces métaux, avec les faibles pouvoirs employés dans mes expériences, ont manifesté

une non disposition remarquable à s'allier au mercure. La petite quantité de calcium déposée sur un fil négatif amalgamé empêcha son contact avec un plus gros globule de mercure à un tel degré, qu'il ne fut possible d'établir aucune communication électrique. Au-dessous d'une solution de strontiane, le contact du fil négatif communiqua d'une manière sensible, quoique très-faible, la propriété rotatoire positive. Que cet effet n'était point dû uniquement au faible pouvoir conducteur du liquide; c'est ce qui fut prouvé en ajoutant un peu d'amalgame de zinc; car le mercure commença immédiatement à tourner rapidement. L'influence du *magnésium* est plus sensible que celle du strontium ou du calcium, à cause de la plus grande facilité avec laquelle il s'amalgame.

*Zinc*. Lorsque du mercure pur est électrisé sous des solutions de potasse ou de soude sans être en contact avec aucun des poles de la manière si souvent décrite, il ne donne aucun signe de rotation, comme on l'a déjà observé; mais si on le touche un instant avec l'extrémité d'un fil propre de zinc, ou si on y porte un atome d'amalgame solide de zinc, aussi peu qu'on pourra en prendre sur la pointe d'une aiguille, il se met à tourner violemment dans une direction positive (ou du pole positif).

Un alliage d'une partie de zinc et de 10,000 de mercure pur tourne avec la plus grande violence. S'il est délayé dans une quantité de mercure dix fois plus grande, la force de rotation ne paraît que peu diminuée. La proportion du mercure fut augmentée jusqu'à 400000, et la rotation, quoique faible, était encore complète, se pro-

pageait à travers la totalité d'une masse considérable d'alliage; et même, lorsque le zinc ne fit plus que le $\frac{1}{700000}$ du tout, on observait encore un courant rayonnant à une courte distance du pole positif. Mais quand le zinc ne forma plus que $\frac{1}{1000000}$, on n'apercevait aucune différence entre l'alliage et le mercure pur.

*Plomb.* Un alliage de 200 parties de mercure et de 1 de plomb possédait à perfection la propriété positive. Lorsque la proportion du mercure fut de 667, la rotation était encore produite, mais elle n'était pas pleine et régulière. Portée à 1000, on n'observait plus qu'un léger courant rayonnant du pole positif à une courte distance, et à 2000, le mouvement fut entièrement éteint.

*Etain.* Ce métal agit de la même manière et à-peu-près avec la même énergie que le plomb, autant que j'en ai pu juger à l'œil. Il est certainement de beaucoup inférieur au zinc.

*Fer.* Il communique la propriété en question, quoiqu'il existe dans le mercure en si petite quantité qu'il ne puisse être découvert par le prussiate de potasse. D'un autre côté, le *cuivre* ne la communique point, quoiqu'on augmente sa proportion au point de donner une dissolution bleue dans l'acide nitrique, et même d'empêcher entièrement le mercure de couler.

Parmi les autres métaux que j'ai essayés, l'*antimoine* est le seul qui exerce une action sensible; mais elle est si faible que je suis disposé à l'attribuer à l'impureté de l'antimoine employé, surtout à cause que ce métal est placé très-bas dans l'échelle d'énergie électro-positive. Le bismuth, l'argent et l'or, quoiqu'existant en

muriate de chaux, et de sulfate et de muriate de magnésie, et une plus grande quantité correspondante de carbonate de soude que l'analyse n'en donne, quoique ces sels soient peu à peu décomposés à mesure que l'eau s'évapore. Les mêmes lois d'équilibre doivent avoir lieu aussi dans les substances dont l'eau ne contient que des quantités extrêmement petites, quoique l'effet de ces lois soit encore moins sensible pour elles.

J'ai déjà avancé que tous les carbonates qui se trouvent dans les eaux de Carlsbad y sont à l'état de bi-carbonate. Je ne les ai cependant pas calculés comme tels dans le résultat de mon analyse, parce qu'il aurait été moins comparable avec le résultat de mes prédécesseurs.

Ni le fluate ni le phosphate de chaux ne sont solubles dans l'eau; leur solubilité dans les acides me fit supposer que, dans les eaux de Carlsbad, ils étaient dissous par l'acide libre. Je mêlai, pour m'en assurer, du fluate de chaux qui venait d'être préparé et qui était encore humide, avec l'eau, que j'imprégnai alors avec du gaz carbonique. Le liquide, qui était devenu clair, fut filtré et chauffé ensuite jusqu'à l'ébullition; il ne se sépara cependant, au dégagement de l'acide carbonique, qu'une très-faible trace de fluate de chaux. Je mis alors du carbonate de soude et du fluate de chaux dans une autre quantité d'eau, et je saturai ce mélange avec du gaz carbonique. Cette dissolution se troubla considérablement pendant son ébullition, et déposa du fluate de chaux. Il s'ensuit donc que le bi-carbonate de soude est le véritable dissolvant du fluate de chaux dans les eaux de Carlsbad.

Le phosphate de chaux, qui est précipité par l'ammoniaque caustique de ses solutions dans les acides, ou par l'eau de chaux d'un liquide qui contient de l'acide phosphorique, est dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique en plus grande quantité et beaucoup plus facilement que le fluate de chaux, et je ne trouvais pas de différence quand l'eau contenait de la soude ou n'en contenait pas. Le phosphate de magnésie neutre ou avec excès de base est soluble en petite quantité dans l'eau, et se précipite quand on mêle l'eau avec une quantité un peu plus grande d'un sel. Nous avons déjà vu que le phosphate de magnésie se trouve aussi dans la pierre du Sprudel. Il paraît par conséquent que l'acide carbonique est aussi le dissolvant de ce sel. L'oxide de fer, quand il est formé, se partage peut-être avec l'alumine l'acide phosphorique, et peut-être aussi la chaux fait la même chose au moment où elle cesse d'être un bicarbonate.

Plusieurs chimistes ont essayé d'appliquer la doctrine des proportions déterminées au résultat de l'analyse des eaux minérales, comme si on devait regarder chaque eau d'une source comme une seule combinaison chimique dans une proportion fixe. On ne peut pas douter qu'il n'y ait quelques-unes des parties trouvées qui soient entr'elles dans une proportion chimique avant d'être dissoutes dans l'eau, parce qu'elles ont fait partie d'une combinaison certaine, combinaison qui est décomposée par l'eau, ou avant son action, par d'autres causes (1);

(1) On trouve en effet un grand rapport avec les proportions chimiques, dans le résultat obtenu par l'analyse des eaux

mais il ne faut pas admettre la même règle pour toutes les parties constituantes.

On peut supposer cela d'autant moins que si les parties constituantes d'une roche quelconque, par exemple, du granite, doivent être combinées d'après des proportions chimiques déterminées, quoique cela existe aussi dans les minéraux différens dont la roche se compose, cependant comme l'eau dissout tout ce qu'elle trouve de soluble sur son chemin, il n'est pas probable qu'elle ne rencontrera pas des mélanges mécaniques, car la masse des montagnes en contient partout. On aperçoit facilement quel peu d'importance on doit accorder à cette idée, en considérant qu'il y a des substances qui se trouvent dans l'eau en proportions si petites, que le nombre des atomes des parties constituantes qui s'y rencontrent en plus grande quantité, deviendrait tellement considérable que

---

de Carlsbad. Si on calcule les parties constituantes qui y sont contenues en plus grande quantité, par exemple, d'après le sulfate de soude, on obtient le résultat suivant :

| | | |
|---|---|---|
| Sulfate de soude, | 2,587 = | 18 atomes. |
| Carbonate de soude, | 1,286 | 12 |
| Muriate de soude, | 1,061 | 9 |
| Carbonate de chaux, | 0,305 | 3 |
| Carbonate de magnésie, | 0,172 | 2 |

La différence entre la quantité calculée de muriate de soude et celle qui existe réellement est, cependant, si grande relativement à l'exactitude avec laquelle on peut déterminer la proportion de ce sel et celle du sulfate de soude, qu'elle excède beaucoup les limites des erreurs inévitables d'observation.

le poids d'un ou de plusieurs atomes tomberait dans les limites des erreurs qu'on ne peut pas éviter dans des recherches de cette nature.

(*La suite au Cahier prochain.*)

---

## EXTRAIT *d'un Mémoire sur la double Réfraction.*

### PAR M^r A. FRESNEL (1).

(Lu à l'Académie des Sciences le 26 novembre 1821).

On avait supposé jusqu'à présent que dans tous les cristaux qui divisent la lumière en deux faisceaux, un de ces faisceaux suit toujours les lois de la réfraction ordinaire. Les expériences de Huygens, de Wollaston et de Malus ayant démontré ce principe pour le spath calcaire, on l'avait étendu par analogie à toutes les autres substances douées de la double réfraction. Les considérations mécaniques au moyen desquelles je suis parvenu à l'expliquer pour les cristaux à un axe, et que j'ai exposées dans ces Annales, tom. XVII, pag. 179 et suivantes, me firent sentir que le même principe n'était plus applicable aux cristaux à deux axes, et que dans ceux-ci aucun des deux faisceaux ne devait suivre les lois de la réfraction ordinaire, ou, en d'autres termes, que les rayons appelés *ordinaires* devaient éprouver eux-mêmes des variations de vitesse analogues à celles des rayons extraordinaires : c'est aussi ce que l'expérience a confirmé.

La théorie des ondes ne m'annonçait pas ces variations

---

(1) Nous avons déjà rendu compte de la partie expérimentale de ce travail dans un rapport fait à l'Académie des Sciences, et publié, en 1822, dans le tome XX de ces *Annales*, page 337.

d'une manière vague : elle me donnait le moyen d'en calculer l'étendue d'après les élémens de la double réfraction du cristal, c'est-à-dire, son degré d'énergie et l'angle des deux axes. J'avais fait d'avance le calcul pour la topaze limpide, d'après les données tirées des observations de M. Biot; et l'expérience s'est accordée d'une manière satisfaisante avec le calcul, ou du moins la petite différence que j'ai observée peut être attribuée à quelque inexactitude dans les coupes du cristal ou la direction des rayons, et peut-être aussi à quelque légère différence de propriétés optiques entre ma topaze et celles de M. Biot.

Pour mesurer les variations de vitesse des rayons ordinaires, j'ai employé successivement la méthode d'interférences que fournit la diffraction, et le procédé que M. Biot a suivi dans ses recherches sur la double réfraction. Afin de comparer plus aisément par l'une et l'autre méthode la marche des rayons qui traversaient les deux plaques ou les deux prismes tirés du même cristal, j'avais fait travailler ensemble les deux plaques collées bord à bord, ainsi que les deux prismes, de manière que, dans chaque appareil, les faces des deux morceaux contigus fussent exactement sur un même plan ; ce qui avait été vérifié par la réflexion et au moyen des anneaux colorés que le contact d'un verre légèrement convexe faisait naître sur la surface des deux cristaux : après quoi chaque appareil avait été légèrement pressé entre deux verres plans, enduits d'une mince couche de térébenthine qui complétait le poli et servait en même temps à compenser presque exactement le petit défaut de continuité des deux surfaces contiguës. Les verres plans collés sur les prismes de topaze étaient eux-mêmes prismatiques, et présentaient,

chacun en sens contraire de l'angle du cristal, un angle égal à la moitié de celui-ci, de manière à l'achromatiser. Dans l'appareil composé de deux plaques de topaze, ces verres étaient des plaques à faces parallèles.

Pour obtenir la plus grande différence de réfraction entre les faisceaux ordinaires, il faut qu'étant l'un et l'autre perpendiculaires à la ligne qui divise en deux parties égales l'angle aigu des deux axes, l'un des faisceaux soit parallèle et l'autre perpendiculaire au plan des axes. Il est à remarquer que, dans la même circonstance, les rayons extraordinaires conservent au contraire une vitesse constante, conformément à la théorie. Ainsi lorsque le faisceau lumineux, restant perpendiculaire à l'axe moyen, tourne autour de cet axe, la vitesse des rayons extraordinaires reste constante, et celle des rayons ordinaires éprouve les plus grandes variations dont elle est susceptible; et réciproquement, lorsque le faisceau lumineux tourne autour de la ligne qui divise en deux parties égales l'angle obtus des deux axes, en restant perpendiculaire à cette ligne, les rayons ordinaires conservent la même vitesse, et la réfraction extraordinaire passe du *maximum* au *minimum*.

Les idées théoriques qui m'ont conduit à cette découverte reposent sur l'hypothèse que les vibrations lumineuses s'exécutent uniquement suivant des directions parallèles à la surface des ondes. Dans la note déjà citée, où j'ai présenté cette hypothèse avec quelque développement, j'ai fait voir qu'il suffisait d'admettre dans l'éther une résistance assez grande à la compression pour concevoir l'absence des vibrations longitudinales. D'après cette supposition sur la nature des vibrations lumineuses, la lumière polarisée est celle dans laquelle les oscillations

transversales s'exécutent constamment suivant une même direction, et la lumière ordinaire est la réunion et la succession rapide d'une infinité de systèmes d'ondes polarisés dans toutes les directions. L'acte de la polarisation ne consiste pas à créer ces vibrations transversales, mais à les décomposer suivant deux directions rectangulaires constantes, et à séparer les deux systèmes d'ondes ainsi produits, soit seulement par leur différence de vitesse, comme dans les lames cristallisées, soit aussi par une différence d'inclinaison des ondes et des rayons, comme dans les cristaux taillés en prismes ou les plaques épaisses de carbonate de chaux; car partout où il y a différence de vitesse entre les rayons, la réfraction peut les faire diverger. Enfin, d'après la même théorie, le plan de polarisation est le plan perpendiculairement auquel s'exécutent les vibrations transversales.

Cela posé, je considère un milieu doué de la double réfraction comme présentant des élasticités différentes dans les diverses directions; et j'entends ici par *élasticité* la force plus ou moins grande avec laquelle le déplacement d'une tranche du milieu vibrant entraîne le déplacement de la tranche suivante. Je suppose toujours que ces tranches ne se rapprochent ni ne s'écartent les unes des autres, mais glissent seulement chacune dans leur plan, et d'une quantité très-petite relativement à la distance qui sépare deux molécules consécutives de l'éther.

Lorsque la lumière traverse un corps diaphane, les molécules propres de ce corps participent-elles aux vibrations lumineuses, ou celles-ci se propagent-elles seulement par l'éther renfermé dans le corps? C'est une question qui n'est pas encore résolue. Mais quand même

l'éther serait le seul véhicule des ondes lumineuses, l'hypothèse qu'on vient d'énoncer pourrait être admise ; car un arrangement particulier des molécules du corps peut modifier l'élasticité de l'éther, c'est-à-dire, la dépendance mutuelle de ses couches consécutives, de manière qu'elle n'ait pas la même énergie dans tous les sens. Ainsi, sans chercher à découvrir si tout le milieu réfringent ou seulement une portion de ce milieu participe aux vibrations lumineuses, nous ne considérerons que la partie vibrante quelle qu'elle soit; et la dépendance mutuelle de ses molécules sera ce que nous appellerons l'*élasticité du milieu*.

Quand on déplace une molécule dans un milieu élastique, la résultante des forces qui tendent à la ramener à sa première position n'est pas généralement parallèle à la direction suivant laquelle elle a été déplacée : il faut pour cela que les résultantes des forces qui poussent cette molécule de droite et de gauche dans chaque azimut aient la même intensité. Les directions pour lesquelles cette condition est remplie, c'est-à-dire, suivant lesquelles la molécule est repoussée dans la direction même de son déplacement, sont ce que j'appelle les *axes d'élasticité* du milieu, et que je considère comme *les véritables axes* du cristal.

Dans le Mémoire dont je présente ici l'extrait, je démontre d'abord que *lorsqu'un système quelconque de points matériels est en équilibre, il y a toujours, pour chacun d'eux, trois axes rectangulaires d'élasticité*. Il suffit ensuite de supposer que ces axes sont parallèles dans toute l'étendue du milieu, et que les petits déplacemens des molécules n'éprouvent pas la même résistance sui-

vant ces trois directions rectangulaires, pour représenter toutes les propriétés optiques des substances qu'on appelle *cristaux à un axe* ou *à deux axes*.

Si l'on prend sur chacun des trois axes rectangulaires d'élasticité et sur des rayons vecteurs menés dans tous les sens, des longueurs proportionnelles aux racines carrées des élasticités mises en jeu par les petits déplacemens parallèles à chacune de ces directions, on formera ainsi une surface qui représentera la loi des élasticités du milieu, et que, pour cette raison, nous appellerons *surface d'élasticité* : elle donnera immédiatement par la longueur de chaque rayon vecteur la vitesse de propagation des vibrations parallèles, parce que la vitesse sera encore ici proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité. On ne suppose pas dans cette construction que le carré du rayon vecteur soit la résultante entière des forces qui repoussent la molécule déplacée suivant sa direction, mais seulement la composante parallèle au rayon vecteur : cette résultante peut toujours se décomposer en deux forces, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire au rayon vecteur. Quand la molécule est obligée de suivre le rayon vecteur, c'est-à-dire, quand le plan de l'onde est perpendiculaire à l'autre composante, celle-ci n'a aucune influence sur la vitesse de propagation, puisqu'elle ne peut contribuer au déplacement des couches du milieu parallèlement à la surface des ondes ; on n'a donc plus à considérer alors que la force dirigée suivant le rayon vecteur : or, c'est toujours à ce cas que je ramène toutes les questions de la propagation des ondes dans le cristal.

C'est ici le lieu de remarquer que lorsque le plan de l'onde n'est pas normal à la composante perpendiculaire

au rayon vecteur, celle-ci tend à changer, d'une tranche à l'autre, la direction du mouvement vibratoire, auquel on ne peut pas appliquer alors les lois ordinaires de la propagation des ondes; mais il devient aisé de suivre sa marche si on le décompose en deux autres mouvemens rectangulaires dirigés suivant le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan de l'onde, pour lesquels la deuxième composante est normale à ce plan (ainsi que le calcul le démontre), et ne peut plus par conséquent dévier la direction du mouvement vibratoire, qui s'exécute et se propage alors comme dans les milieux d'une élasticité uniforme : seulement les deux systèmes d'ondes ainsi produits, développant des forces accélératrices différentes, ne se propagent pas l'un et l'autre avec la même vitesse; et l'intervalle qui sépare leurs points correspondans devient d'autant plus sensible qu'ils ont parcouru une plus grande épaisseur du cristal. Ce sont ces deux systèmes d'ondes qui donnent naissance aux phénomènes de coloration des lames cristallisées ou à la bifurcation des rayons lorsque le cristal est taillé en prisme; car leur différence de vitesse entraîne nécessairement une différence de réfraction. Quand on connaît la loi des vitesses de propagation de chaque système d'ondes, on peut toujours déterminer le changement d'inclinaison qu'ils éprouvent à leur entrée dans le prisme et à leur sortie, et calculer ainsi les inclinaisons relatives des faisceaux incidens et émergens : c'est pourquoi nous ne nous occuperons ici que de la recherche de la loi des vitesses.

Il est à remarquer d'abord qu'il suffit de connaître les trois axes de la surface d'élasticité pour déterminer

la longueur de tous ses rayons vecteurs, quelle que soit la nature de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant, si du moins l'on ne considère que de très-petits déplacemens de ces molécules, comme nous l'avons supposé jusqu'à présent. Si l'on représente par $a$, $b$ et $c$ les trois demi-axes de la surface, par $X$, $Y$ et $Z$ les angles qu'un rayon vecteur quelconque fait avec ces axes, et par $v$ la longueur de ce rayon vecteur, l'équation de la surface d'élasticité est :

$$v^2 = a^2 \cos.^2 X + b^2 \cos.^2 Y + c^2 \cos.^2 Z.$$

Le calcul qui conduit à ce résultat est fondé sur ce principe facile à démontrer, *que tout petit déplacement d'une molécule, suivant une direction quelconque, produit une force répulsive qui équivaut rigoureusement, en grandeur et en direction, à la résultante des trois forces répulsives que produiraient séparément trois déplacemens rectangulaires respectivement égaux aux composantes statiques du premier déplacement parallèles à leurs directions.* On suppose ici qu'il n'y a qu'une molécule déplacée, et que toutes les autres sont restées dans leurs positions primitives.

Il est facile ensuite de démontrer que les élasticités mises en jeu par les déplacemens complexes des molécules dans les ondes planes et indéfinies, suivent la même loi que les élasticités mises en jeu par le déplacement d'une seule molécule, indépendamment de toute hypothèse sur la nature des forces moléculaires, du moins tant qu'on ne fait pas varier le plan de l'onde, mais seulement la direction des vibrations. Pour prouver que l'équation qui représente la loi des élasticités développées dans le cas du déplacement d'une seule molé-

cule convient également aux élasticités mises en jeu dans les ondes lumineuses, quelle que soit la direction de leur surface, il suffit d'établir de plus que l'élasticité développée dépend uniquement de la direction des petits déplacemens moléculaires, et reste constante malgré les variations du plan de l'onde, tant que cette direction ne change pas. C'est ce que j'ai vérifié sur la topaze par plusieurs expériences très-soignées, dans lesquelles j'ai comparé les vitesses de propagation de rayons traversant le cristal dans des sens différens, mais dont les mouvemens vibratoires ou les plans de polarisation affectaient la même direction : j'ai toujours trouvé qu'alors les vitesses sont les mêmes, c'est-à-dire qu'elles ne dépendent pas de la direction du rayon, mais seulement de celle de son plan de polarisation. Ce second théorème est-il aussi général que le premier et indépendant de toute hypothèse sur la loi de l'action réciproque des molécules du milieu vibrant? C'est ce que je n'ai pas encore approfondi; j'ai trouvé seulement qu'on pourrait en rendre raison par des hypothèses très-simples et très-admissibles.

A l'aide de l'équation ci-dessus, on détermine à la fois les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, ainsi que la direction de leurs plans de polarisation : il suffit de calculer la courbe d'intersection de la surface d'élasticité avec un plan diamétral parallèle à l'onde : le plus grand et le plus petit rayon vecteur compris dans le plan sécant donneront par leurs directions celles des vibrations ordinaires et extraordinaires, et partant celles de leurs plans de polarisation, qui sont perpendiculaires à ces vibrations; tandis que

leurs longueurs représenteront les vitesses de propagation des ondes ordinaires et extraordinaires, comptées perpendiculairement au plan sécant.

Il y a toujours deux plans diamétraux qui coupent cette surface suivant un cercle; ils passent par l'axe moyen et sont également inclinés sur chacun des deux autres axes. Les ondes parallèles à ces plans ne pourront avoir qu'une seule vitesse de propagation, puisque, tous les rayons vecteurs contenus dans ces plans étant égaux, les vibrations parallèles développeront toujours les mêmes forces accélératrices, dans quelque direction qu'elles s'exécutent d'ailleurs. De plus, les composantes perpendiculaires aux rayons vecteurs étant toutes perpendiculaires au plan sécant, pour le cas particulier des sections circulaires, le milieu réfringent ne pourra plus dévier les mouvemens oscillatoires des ondes parallèles, ni par conséquent changer leur plan de polarisation. Si donc on coupe le cristal parallèlement au plan d'une des sections circulaires, et qu'on y introduise perpendiculairement des rayons polarisés, suivant un azimut quelconque, l'onde incidente étant parallèle à la face d'entrée, lui sera encore parallèle dans l'intérieur du cristal, et n'éprouvera conséquemment ni double réfraction ni déviation de son plan de polarisation. Ainsi les deux directions perpendiculaires aux sections circulaires présentent tous les caractères de ce qu'on appelle *les axes du cristal* : j'ai proposé de leur donner le nom d'*axes optiques*, pour les distinguer des axes d'élasticité. L'expérience confirme la relation que cette construction établit entre l'angle des deux axes optiques et les autres élémens de la double réfraction du cristal.

On sait que les rayons de diverses couleurs, ou, en d'autres termes, les ondes de diverses longueurs ne se propagent pas avec des vitesses égales dans le même milieu, et que leur vitesse de propagation est d'autant plus petite qu'elles sont plus courtes : ce phénomène peut s'expliquer en admettant que les sphères d'activité des forces qui tendent à ramener les molécules du milieu dans les positions d'équilibre, s'étendent à des distances sensibles relativement à la longueur des ondulations lumineuses, dont les plus longues n'ont pas un millième de millimètre ; alors on trouve, comme je le montre dans mon Mémoire, que les ondes les plus courtes doivent se propager un peu plus lentement que les autres. En conséquence, les trois demi-axes $a, b, c$, qui représentent les vitesses de propagation des vibrations parallèles, doivent varier un peu pour les ondes de longueurs différentes, d'après la théorie comme d'après l'expérience : or, il est très-possible que cette variation n'ait pas lieu suivant le même rapport dans les trois axes ; alors l'angle que les deux sections circulaires font entr'elles, et partant l'angle des deux axes optiques, ne seraient plus les mêmes pour les rayons de diverses couleurs, ainsi que M. Brewster et M. Herschell l'ont remarqué dans plusieurs cristaux.

Lorsque le point de mire sur lequel on observe les effets de la double réfraction est assez éloigné pour qu'on puisse considérer l'onde incidente comme sensiblement plane, ainsi que nous l'avons fait jusqu'ici, elle l'est encore après sa réfraction dans le cristal ; et pour déterminer la divergence des rayons ordinaires et

extraordinaires, qui ne peut être sensible alors qu'autant que le cristal est prismatique, il suffit de connaître les changemens d'inclinaison des deux systèmes d'ondes à leur entrée dans le prisme et à leur sortie. On peut calculer chaque angle de réfraction à l'aide de l'équation des élasticités, ou plutôt des vitesses, d'après le principe général que les sinus des angles des ondes incidentes et réfractées avec la surface du milieu réfringent sont entr'eux comme les vitesses de propagation de ces ondes en dedans et en dehors du milieu : ce sera suivant une direction perpendiculaire à l'onde émergente qu'on verra l'image du point de mire.

Mais lorsque ce point est assez rapproché et la double réfraction assez forte, il devient nécessaire de connaître la loi de courbure des ondes lumineuses dans l'intérieur du cristal, c'est-à-dire, l'équation de leur surface, pour calculer les directions suivant lesquelles on verra les deux images du point de mire au travers du cristal. Il résulte du principe de la composition des petits mouvemens que tout plan tangent à la surface de l'onde (supposée tout entière dans le même milieu) doit être distant de son centre d'une quantité égale à l'espace parcouru au même instant par une onde plane indéfinie, partie de ce point à l'origine du mouvement, et parallèle à l'élément de l'onde courbe situé dans le plan tangent. Or, ces espaces parcourus par des ondes planes indéfinies, comptés perpendiculairement à leur surface, sont proportionnels, pour toutes les directions, au plus grand et au plus petit rayon vecteur des sections diamétrales de la surface d'élasticité parallèles à ces ondes planes. L'équation du plan sécant étant $z = mx + ny$,

le plus grand et le plus petit rayon vecteur de la section sont donnés par la relation suivante :

$$(a^2-v^2)(c^2-v^2)n^2+(b^2-v^2)(c^2-v^2)m^2 + (a^2-v^2)(b^2-v^2)=o,$$

dans laquelle $v$ représente à la fois le plus grand et le plus petit rayon vecteur. Ainsi la surface de l'onde courbe est touchée par chaque plan parallèle au plan sécant et distant de l'origine d'une quantité égale à la valeur de $v$ tirée de l'équation ci-dessus. Or, cette condition est satisfaite par l'équation suivante, qui est conséquemment celle de la surface de l'onde :

$$(a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2)(x^2+y^2+z^2)-a^2(b^2+c^2)x^2 -b^2(a^2+c^2)y^2-c^2(a^2+b^2)z^2+a^2b^2c^2=o.$$

Si dans la construction que Huygens a donnée pour déterminer la direction des rayons réfractés par le spath d'Islande, et qui peut s'appliquer à toute forme d'onde, on substitue à la sphère et à l'ellipsoïde de révolution la surface à deux nappes représentée par cette dernière équation, et qu'on opère d'ailleurs de la même manière, on aura deux plans tangens dont les points de contact, joints au centre de l'onde, donneront la direction du *rayon ordinaire* et du *rayon extraordinaire*.

Lorsque deux des axes d'élasticité sont égaux, $b$ et $c$, par exemple, cette équation peut être mise sous la forme,

$$(x^2+y^2+z^2-b^2)(a^2x^2+b^2(y^2+z^2)-a^2b^2)=o,$$

qui est le produit de l'équation d'une sphère par celle d'un ellipsoïde de révolution. Alors les deux sections circulaires de la surface d'élasticité se confondent avec le plan $yz$, et les deux axes optiques avec l'axe des $x$:

c'est le cas des cristaux *à un axe*, tels que le spath calcaire. Mais quand les trois axes sont inégaux, l'équation générale n'est plus décomposable en facteurs rationnels du second degré.

La surface des ondes lumineuses dans les cristaux pour lesquels $a$, $b$ et $c$ sont inégaux, peut être engendrée par une construction très-simple, qui établit une relation immédiate entre la longueur et la direction de ses rayons vecteurs. Si l'on conçoit un ellipsoïde ayant les mêmes demi-axes $a$, $b$ et $c$, et si, l'ayant coupé par un plan diamétral quelconque, on élève sur ce plan, au centre de l'ellipsoïde, une perpendiculaire égale au plus petit ou au plus grand rayon vecteur de la section, l'extrémité de cette perpendiculaire appartiendra à la surface de l'onde, ou, en d'autres termes, la longueur de cette perpendiculaire sera celle du rayon vecteur correspondant de la surface de l'onde, et donnera ainsi la vitesse des *rayons lumineux* qui se propagent dans cette direction; car ces rayons vecteurs doivent présenter effectivement, d'après la théorie des ondes, tous les caractères optiques qu'on attache au mot *rayon lumineux*. C'est un principe que nous ne pourrions pas démontrer sans entrer dans des détails un peu longs, mais qu'il était nécessaire d'énoncer ici pour faciliter la traduction des conséquences de la théorie des ondes dans le langage mieux connu du système de l'émission.

Si l'on divise l'unité par les carrés des deux demi-axes d'une section diamétrale de l'ellipsoïde, la différence entre ces quotiens est proportionnelle au produit des sinus des angles que la perpendiculaire à cette section fait avec les deux normales aux plans des sections circulaires, c'est-

à-dire, avec les deux axes optiques (1) du cristal. Cette conséquence de la théorie des ondes traduite dans le langage de l'émission, où les rapports des vitesses attribuées aux rayons sont inverses, est précisément la loi de la différence des carrés des vitesses que M. Brewster avait déduite de ses expériences, et qui avait été confirmée depuis par celles de M. Biot, auquel on doit la forme simple du produit des deux sinus.

La règle que M. Biot avait donnée pour déterminer la direction des plans de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires s'accorde aussi avec la construction que nous venons d'énoncer, ou du moins la légère différence qu'on remarquera en y réfléchissant, ne paraît pas susceptible d'être saisie par l'observation. Ainsi l'exactitude de cette construction se trouve établie à la fois par les expériences antérieures de M. Brewster et de M. Biot, et les nouvelles observations que j'ai faites pour la vérifier.

La théorie de la double réfraction dont nous avons exposé dans cet extrait les principaux résultats, et la construction si simple qu'on en déduit, présentent ce caractère remarquable que toutes les inconnues sont déterminées en même temps par la solution du problème. On

(1) Les plans des sections circulaires de l'ellipsoïde et de la surface d'élasticité ne coïncident pas rigoureusement, et par conséquent les normales à ces plans diffèrent un peu, mais d'un angle qui est très-petit pour tous les cristaux à deux axes connus jusqu'à présent : on peut également donner le nom d'*axe optique* à l'une ou l'autre de ces normales.

trouve à la fois la vitesse du rayon ordinaire, celle du rayon extraordinaire, et leurs plans de polarisation. Les physiciens qui ont souvent réfléchi sur les lois de la nature, sentiront que cette simplicité et ces relations intimes entre les diverses parties du phénomène offrent de grandes probabilités en faveur de la théorie qui les établit.

Long-temps avant de l'avoir conçue, et par la seule méditation des faits, j'avais senti qu'on ne pouvait découvrir la véritable explication de la double réfraction sans expliquer en même temps le phénomène de la polarisation, qui l'accompagne constamment : aussi est-ce après avoir trouvé quel mode de vibration constituait la polarisation de la lumière, que j'ai entrevu sur-le-champ les causes mécaniques de la double réfraction. Il me semblait encore plus évident que les vitesses des faisceaux ordinaire et extraordinaire devaient être, en quelque sorte, les deux racines d'une même équation; et je n'ai jamais pu admettre un seul instant l'explication d'après laquelle ce serait deux milieux différens, le corps réfringent, par exemple, et l'éther qu'il renferme, qui transmettraient, l'un les ondes extraordinaires et l'autre les ondes ordinaires; et en effet, si ces deux milieux pouvaient transmettre séparément les ondes lumineuses, on ne voit pas pourquoi les deux vitesses de propagation seraient rigoureusement égales dans la plupart des corps réfringens, et pourquoi des prismes de verre, d'eau, d'alcool, etc., ne diviseraient pas aussi la lumière en deux faisceaux distincts.

Dans le Mémoire dont je viens de donner un extrait (que j'aurais desiré pouvoir développer davan-

tage), j'explique aussi par la même théorie pourquoi la réfraction d'un milieu homogène ne divise jamais la lumière en trois ou quatre faisceaux, mais seulement en deux, et pourquoi il ne peut pas y avoir plus de deux axes optiques dans les cristaux, du moins tant que les trois axes d'élasticité de chacun des points du milieu réfringent sont parallèles dans toute son étendue; ce qui doit avoir lieu quand les lignes ou les faces homologues de ses molécules sont parallèles. Il semblerait au premier abord que ce parallélisme doit être le résultat constant d'une cristallisation régulière: cependant des corps parfaitement cristallisés, tels que le cristal de roche, présentent des phénomènes optiques qu'on ne peut concilier avec le parallélisme complet des lignes moléculaires, et qui sembleraient indiquer une déviation progressive et régulière de ces lignes dans le passage d'une tranche du milieu à la tranche suivante. On conçoit, en effet, outre le cas du parallélisme, une foule d'autres arrangemens moléculaires qui conserveraient au corps tous les caractères de l'homogénité et d'une organisation régulière. Mais je n'ai calculé jusqu'à présent les lois de la réfraction que pour le cas particulier où les axes d'élasticité ont la même direction dans chaque point du milieu vibrant.

---

# Sur *certains Mouvemens produits dans les liquides conducteurs, lorsqu'ils transmettent le courant électrique.*

Par J. F. W. Herschel.

Ayant eu occasion, dans le cours de quelques recherches sur l'action décomposante de la pile voltaïque, d'électriser le mercure en contact avec différentes solutions salines, je fus surpris de remarquer des mouvemens qui se manifestaient dans le métal fluide d'une manière violente et en apparence capricieuse, et pour lesquels, après avoir opéré uniformément avec un pouvoir électrique très-faible, je n'aperçus aucune cause satisfaisante. Le mercure était fréquemment agité par des tressaillemens convulsifs; quelquefois il s'y formait des courans et des jets d'une grande violence, d'autres fois il s'étendait, s'allongeait en se ramifiant dans les formes les plus irrégulières, et présentait en même temps des apparences d'une nature si bizarre qu'elles m'engagèrent à faire des expériences dans le dessein de déterminer leurs causes, ou du moins les circonstances essentielles à leur reproduction.

Les singulières agitations convulsives qu'éprouve le mercure dans le circuit d'une puissante batterie voltaïque déchargée à travers l'eau, ont été remarquées par sir H. Davy, dans ses *Elémens de Philosophie chimique*. L'eau pure cependant est un conducteur si imparfait qu'il faut employer de grands pouvoirs voltaïques; les phénomènes sont alors trop irréguliers et les agitations trop violentes pour qu'on puisse les analyser. C'est

seulement lorsque les liquides qui conduisent bien sont employés pour former le circuit, qu'ils deviennent réguliers, et que l'on peut les étudier à loisir sous l'influence d'une énergie électrique modérée.

Si une quantité de mercure très-pur, parfaitement net et débarrassé de toute pellicule superficielle, est placée dans un vase évaporatoire de terre de Wedgewood (qui doit être aussi très-propre), et couvert d'un quart de pouce d'acide sulfurique concentré, et que les extrémités de deux fils de platine en connexion avec les poles d'un appareil voltaïque soient immergés *dans l'acide seulement*, aux côtés opposés du mercure, mais non en contact avec lui, il se manifestera immédiatement dans l'acide une circulation rapide due à un courant violent qui s'établit entre les deux fils, et qui traverse directement le mercure dans la direction du pole négatif au pole positif. Ce courant se maintient constamment, sans aucun changement dans sa direction et dans sa force, pendant tout le temps que la pile reste en activité, et enfin ne cesse que lorsque son énergie est entièrement épuisée. Le mercure n'est pas sensiblement terni ou attaqué, ni l'acide altéré, à l'exception d'une portion insignifiante qui a été décomposée, et d'une petite quantité de mercure qui a été dissoute.

Si l'on examine les phénomènes plus attentivement, on observe que les parties de l'acide en contact immédiat *avec le mercure* sont celles qui se meuvent avec plus d'activité, étant lancées sur la surface avec une violence surprenante; celles au-dessus paraissent plutôt entraînées que poussées par aucune force agissant direc-

tement sur elles. On apercevra aussi que si l'on met quelque distance entre les deux fils et les bords du mercure, le courant sera resserré, et la circulation s'établira dans le voisinage immédiat du mercure *seulement*, le liquide environnant les fils étant presque entièrement en repos.

Si le centre du globule ou disque de mercure est placé sur une ligne droite avec les extrémités des fils, le courant s'établira diamétralement en travers ; mais si cette condition n'est pas remplie, le courant suivra une curviligne dont chaque filament élémentaire, ayant une courbure différente, traversera le mercure dans une direction ayant une origine et une fin communes, à savoir les points (*z*) et (*c*) de ses surfaces plus près respectivement des poles négatifs et positifs.

Si le globule de mercure est d'une grosseur considérable (de quatre ou cinq cents grains, par exemple), on le verra s'allonger, dans la direction de ses axes, vers le fil négatif, et s'il en est assez près, il l'atteindra et s'amalgamera avec lui. Mais si le globule est petit, toute la masse se mettra en mouvement avec plus ou moins de rapidité, comme si elle était attirée par le fil négatif : cette attraction apparente est souvent très-énergique, le globule se mouvant avec une grande vélocité vers le fil négatif auquel il adhère immédiatement. Si les fils forment un triangle avec la situation du globule qui est en repos, le dernier n'avance ni directement vers le fil négatif ni directement du pole positif; mais dans une direction oblique aux deux, en approchant du fil négatif dans une spirale, et en décrivant fréquemment plusieurs révolutions avec une vélocité croissante avant de tomber finalement sur lui et de s'y

amalgamer, comme un corps sollicité à la fois par une force attractive dirigée vers le fil négatif et une force répulsive provenant du fil positif.

Ces attractions et répulsions apparentes, cet allongement des grandes masses de mercure et le mouvement corporel des petites masses vers le pole négatif, ne sont réellement que les effets secondaires; leur cause immédiate, ainsi que celle des courans dans l'acide environnant, sera découverte par une attention plus fixée à ce qui se passe dans le mercure même lorsqu'il est sous l'influence de l'action électrique.

A cette fin, si l'on opère sur une masse considérable de mercure, et qu'au lieu de le recouvrir avec l'acide on l'en humecte, ainsi que le vaisseau qui le contient; et que l'on fasse le circuit comme précédemment, et seulement par le moyen de la mince couche d'acide qui y adhère, la circulation du mercure ne sera pas moins violente; mais il sera alors évident que l'origine du mouvement est, dans le mercure même, la membrane acide (en ce qui concerne l'impulsion mécanique), purement passive et entraînée par son adhérence au mercure, le couvrant fréquemment d'une couche assez mince pour réfléchir les couleurs irisées sur toute sa surface, ce qui rend le phénomène extrêmement beau. Le mouvement du mercure consiste dans une radiation continuelle de ses molécules superficielles, du point le plus près du pole négatif par lequel il est maintenu dans un état constant de circulation : chaque particule étant poussée, le long de la surface, du pole négatif au pole positif, et retournant le long de l'axe. Si le mercure était isolé du fond du vaisseau qui le contient, et dé-

pourvu d'adhésion pour le liquide, le *momentum* des portions allant et de celles retournant serait égal, et le centre de gravité de toute la masse resterait en repos. Mais à cause de la friction et de l'adhésion du fluide métallique pour le vase et le liquide, ceux-ci réagissent sur le globule dans une direction contraire à celle des courans superficiels, et conséquemment le centre de gravité avance dans cette direction vers le pole négatif. Lorsque ce mouvement ne peut avoir lieu, le courant intérieur n'ayant qu'une direction uniforme, se fait un passage vers le pole négatif en tournant et allongeant la figure du mercure en proportion de son énergie. Si le métal est oxidé, de manière à donner une certaine tenacité à la membrane superficielle, les courans poursuivent leur course au-dessous, et le fluide surnageant, étant ainsi défendu de leur action, reste en repos. Dans ce cas, la seule indication de leur existence est la protubérance produite par les courans intérieurs qui en résultent.

Nombre d'apparences singulières sont expliquées par ce courant intérieur. Dans quelques cas, le mercure laisse apercevoir des projections ou protubérances d'une longueur extraordinaire qui prennent la direction du fil électrisé et suivent tous ses mouvemens. Le courant intérieur qui en résulte est dans ce cas dirigé le long de l'axe de l'éminence, depuis son origine jusqu'à son extrémité : ce qui est alors une indication d'une radiation très-puissante le long de sa surface dans une direction opposée. Dans d'autres cas, le mercure s'aplatit dans toute son étendue, et lorsque cela arrive, il est toujours couvert d'une couche épaisse d'oxide. Alors, les courans super-

ficiels tendent de la circonférence vers le centre de la masse aplatie, et le courant intérieur part du centre dans toutes sortes de directions dans un plan horizontal, forçant ainsi continuellement la circonférence à s'étendre de plus en plus, en diminuant le rayon de courbure de la section verticale de ses bords.

On peut prouver évidemment, en substituant un bassin de verre à un bassin de Wedgewood, que le frottement contre le vaisseau est la cause principale de l'attraction apparente du globule de mercure vers l'extrémité négative. Dans ce cas, les courans sont produits comme ci-devant; mais quoiqu'ils soient également puissans, le globule montre peu ou point de tendance au mouvement, et s'il est placé sur une plaque de verre usée à l'émeri ou sur toute autre surface non polie, il se mouvra avec une grande rapidité; et même sa tendance vers le pole négatif est si forte que des globules d'une grandeur considérable peuvent ainsi être soutenus, sans le contact de l'un ou l'autre fil, sur des surfaces inclinées de plusieurs degrés à l'horizon.

Il est essentiel, pour la production des mouvemens dont il est question, que le mercure soit en contact et en libre communication avec l'acide, et qu'il soit placé dans le rayon d'influence du courant électrique. Il n'est cependant pas nécessaire que l'acide s'étende du fil positif au fil négatif; les mouvemens se manifesteront dans tout circuit interrompu du mercure et du liquide environnant. L'expérience est cependant difficile à faire dans l'acide sulfurique, dont l'attraction capillaire pour le mercure est telle que la plus petite goutte, appliquée sur une partie quelconque d'une surface propre de ce

métal, s'étend instantanément sur toute la surface; mais avec d'autres milieux conducteurs on peut la faire aisément. On n'a qu'à laisser tomber quelques gouttes du liquide qu'on veut essayer sur deux endroits différens d'une surface large et nette de mercure et mettre les poles en contact avec eux, ayant soin de ne point plonger les fils dans le métal; on observera alors que les mêmes phénomènes auront lieu vers chaque pole comme si toute la surface avait été couverte de liquide. Les mouvemens sont cependant limités aux seules portions de mercure actuellement couvertes, toutes les autres restant entièrement en repos : les effets sont aussi modifiés par l'action capillaire.

Lorsque le circuit s'opère dans un liquide conducteur, de la manière décrite au commencement de ce Mémoire, l'action est plus énergique dans la ligne droite joignant les poles; sa violence diminue à mesure que l'on s'éloigne de cette ligne, quoiqu'elle continue à être sensible à une grande distance de chaque côté. La marche de l'électricité en traversant les milieux conducteurs, et la loi de sa distribution peuvent être tracées jusqu'à un certain point, en plaçant des globules de mercure en différens endroits d'un liquide : on verra alors clairement que l'action de l'électricité n'est point du tout bornée à la ligne droite joignant les poles, ou à la surface du milieu conducteur; mais qu'en quittant immédiatement les fils elle se répand dans tout le liquide, sa densité étant la plus grande dans l'espace qui les sépare, et diminuant rapidement à mesure qu'on s'éloigne de leur ligne de jonction.

L'action mécanique paraît (*cæteris paribus*) être pro-

portionnelle à la quantité absolue d'électricité qui passe, dans un temps donné, à travers un filament du liquide, dans le point où cette action est exercée. L'effet magnétique est proportionnel (*cæteris paribus*) à la quantité absolue d'électricité en mouvement, existante à chaque instant dans une portion donnée du fil conducteur, ou dans la sphère d'action de l'aiguille, c'est-à-dire, à sa densité (1). Pour établir ou réfuter cette distinction, il faudrait faire des expériences qu'il est aisé d'imaginer, mais que je n'ai pas encore eu l'occasion d'entreprendre. A la vérité, les phénomènes en question présentent, au premier abord, une forte analogie avec les tour-

(1) En m'exprimant ainsi, je conçois que l'électricité se transmet dans les conducteurs, comme le fait un gaz d'une élasticité très-grande, mais variable, dans des tuyaux plus ou moins étroits; supposition qui représente plusieurs des phénomènes. La faible électricité d'une seule paire de plaques peut être comparée à l'air rendu dense et moins élastique par un froid excessif, tandis que la charge active d'une puissante batterie ou l'étincelle d'une machine électrique ordinaire se trouverait, dans cette manière de voir, assimilée à de l'air dont la force serait exaltée et la densité diminuée par une forte chaleur. La même quantité en poids peut passer à travers le même tuyau conducteur dans le même temps; mais, dans un cas, le mouvement de chaque molécule sera comparativement beaucoup plus lent, et la quantité existante à chaque instant de la décharge du conducteur, beaucoup plus grande que dans l'autre. Je n'ignore pas que cette supposition est purement une représentation des faits, une simple analogie; mais elle sert à expliquer la distinction établie dans le texte.

billons électro-magnétiques observés dans les métaux fluides; mais en présentant des aimans très-puissans au mercure, dans diverses positions, pendant qu'il était dans les circonstances ci-dessus décrites, je n'ai jamais pu m'apercevoir qu'ils aient exercé aucune influence ni pour accélérer, ni pour retarder ou faire dévier les courans, et cependant ceux-ci sont incomparablement plus puissans en proportion de l'énergie électrique employée, que les mouvemens produits par l'action des aimans.

En conséquence de cette énergie supérieure d'action, les phénomènes qui font le sujet de ce Mémoire fournissent une preuve, peut-être la plus sensible connue encore, du développement d'un faible pouvoir voltaïque. J'ai construit une petite batterie de fils de zinc et de cuivre tortillés ensemble, chaque paire ayant deux pouces de long depuis le point de leur jonction et les fils $\frac{1}{30}$ de pouce d'épaisseur. Dix paires de ces fils excités par de l'acide nitrique extrêmement faible, ont déterminé une rotation rapide dans le mercure interposé au-dessous de l'acide sulfurique entre les deux poles, et une marche régulière des globules de ce métal vers le pole négatif. La rotation a continué avec une force considérable, quoique les fils fussent retirés de manière à n'avoir que leurs extrémités en contact avec le liquide des auges, cas auquel la surface exposée par chaque paire à l'action de l'acide ne pouvait excéder $\frac{1}{50}$ de pouce carré. Cette indication est même si délicate que l'électricité développée en mettant les extrémités d'un fil mince de zinc et de cuivre en contact avec un verre simplement humecté à l'aide de l'acide faible dont on vient de parler, est très-suffisante pour déterminer une rota-

tion immédiate non équivoque dans une once ou deux de mercure exposé convenablement à son action. Par ce moyen, on peut mettre en évidence le plus faible développement électrique. J'ai rendu ainsi sensible d'une manière frappante l'électricité développée par une simple différence dans l'état de la surface de deux petites portions de fil de cuivre de la même bobine (l'une étant un peu plus propre que l'autre), chacun d'eux n'étant pas immergé de plus d'un pouce de longueur ; ou celle mise en mouvement par un fil de cuivre et un fil de zinc tenus près l'un de l'autre et plongés dans de l'eau de pompe commune ; intensité qu'il n'est point aisé de rendre sensible par d'autres moyens. Il ne suffit point cependant, pour le succès de ces expériences, de plonger les extrémités des fils conducteurs au-dessous de l'acide sulfurique. Les surfaces de contact exigent d'être beaucoup augmentées pour assurer la transmission de toute l'électricité développée. Le meilleur moyen est de les immerger dans des bains profonds de mercure au-dessous de l'acide, un de chaque côté du globule qui doit être mis en rotation (1).

(1) L'efficacité d'une augmentation de surface pour transmettre l'électricité dans un liquide est remarquable. En mettant le pole positif en contact avec une grande surface de mercure, ou encore mieux d'un amalgame de mercure et de zinc, sur laquelle on met une solution saline, la réduction des métaux, des alcalis et des terres à l'autre pole s'effectue avec une facilité qu'on aurait de la peine à croire si on n'en faisait l'épreuve. On peut de cette manière décomposer l'ammoniaque avec trois paires de plaques des dimensions indiquées ci-dessus, très-modérément excitées.

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que les mouvemens engendrés lorsqu'un courant d'électricité est transmis sur le mercure à travers l'acide sulfurique. En employant d'autres liquides conducteurs et d'autres corps métalliques, il se produit des phénomènes du même genre, mais tellement modifiés par la nature des substances employées, par l'intensité du pouvoir électrique et la manière de conduire les expériences, qu'elles en sont extrêmement fatigantes; et je dois avertir le lecteur qui voudrait les répéter, qu'il doit s'attendre à les voir manquer fréquemment, ou même donner des résultats contraires à ceux que je vais décrire, et cela par des causes qu'il n'est point aisé de découvrir. La principale est l'impureté du mercure, et on n'en doit point employer qui n'ait été soigneusement distillé et bien lavé avec de l'acide nitrique affaibli. J'ai été long-temps avant de découvrir cette nécessité; et l'ignorance d'une condition aussi essentielle m'a jeté dans une série de répétitions fastidieuses et décourageantes de chaque expérience, tellement que j'ai été sur le point d'abandonner le sujet, obtenant des résultats contraires en opérant, comme je le supposais alors, d'une manière tout-à-fait semblable.

Lorsque le mercure, ainsi purifié et parfaitement propre, est placé dans un liquide conducteur quelconque, et que le circuit est formé sans mettre aucun des poles en contact avec le métal, les phénomènes varient selon la nature du liquide; mais, généralement parlant, l'effet est la production de courans plus ou moins violens, rayonnant du point le plus près du pole négatif. Dans les acides, et particulièrement dans les plus puissans et les plus concentrés, et qui sont en même temps bons

conducteurs de l'électricité, ces mouvemens sont décidés et violens. Leur force est moindre dans les dissolutions salines à proportion que l'énergie électro-positive de la base est plus grande. Ainsi, dans les sels à base de potasse ils sont faibles, et souvent on ne les aperçoit que par un tressaillement momentané du mercure lorsque le circuit est complété. Dans les sels de soude, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et de chaux, ils sont plus distincts, et plus encore dans ceux de magnésie, d'alumine et des oxides métalliques. D'un autre côté, dans des solutions des alcalis purs et des terres alcalines, le mercure reste parfaitement en repos, ou du moins il n'est agité que par des mouvemens faibles et irréguliers, dépendant de causes que je ne considère pas dans ce moment.

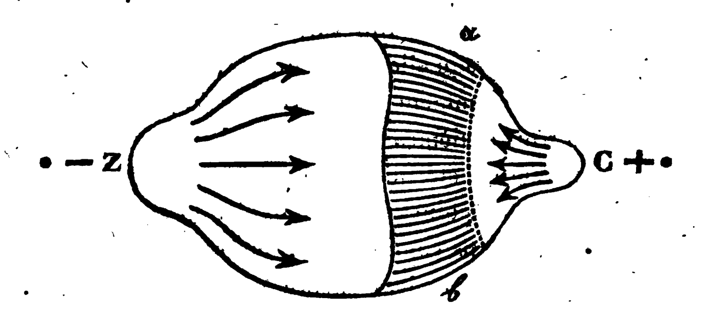
Dans plusieurs liquides, et spécialement dans les solutions des nitrates, il se forme non-seulement un courant rayonnant du pole négatif, mais aussi un autre rayonnant du pole positif, qui même, dans certains cas, l'emporte sur le premier. Ces deux courans coexistent dans le mercure; et en conséquence de leur action, il se forme dans le globule de mercure une zone d'équilibre, plus près de l'un ou de l'autre pole, selon que le courant contraire est plus ou moins violent. Le meilleur moyen de rendre sensible l'influence de ces contre-courans est d'opérer sur une grande quantité de mercure, au-dessous de dissolutions affaiblies, et en tenant le pole négatif éloigné, et le positif très-près. De cette manière, il y a très-peu de liquides qui, lorsque la pile est énergique, ne montrent des signes d'un contre-courant venant du pole positif. La cause en deviendra

évidente lorsque nous parlerons de l'action des alliages métalliques.

Si l'un des poles est mis en contact avec le mercure, on n'observe aucun courant partant du point de contact (du moins lorsque le mercure est propre et le contact parfait); mais il y en a un très-violent de produit, rayonnant de l'autre pole. Si c'est le fil négatif qui touche le mercure, il s'amalgame avec ce métal, qui reste brillant, et les courans rayonnans du pole positif sont visibles à l'œil nu et sont généralement puissans. Si c'est au contraire le fil positif qui est mis en contact avec le mercure, l'oxidation de la surface métallique est ordinairement si rapide, qu'elle empêche les courans d'être visibles; mais un tressaillement momentané venant du pole négatif, l'aplatissement du globule et les protubérances qu'il laisse apercevoir, indiquent suffisamment leur existence au-dessous de la croûte d'oxide. Néanmoins, lorsque l'oxidation n'a pas lieu ou qu'on l'empêche par l'addition de quelques gouttes d'acide nitrique affaibli, les courans partant du fil négatif sont aussi apparens que ceux du pole positif qu'on vient de citer.

Mais ce ne sont pas là les seuls effets produits par le contact avec les fils électrisés. En interrompant les contacts et complétant le circuit dans le liquide, on trouve presque toujours que le mercure a acquis de nouvelles propriétés, ou du moins perdu quelques-unes des siennes. Un globule de mercure pur, du poids de 4 à 500 grains, étant introduit dans une dissolution de sulfate de soude, et le circuit étant complété dans le liquide sans mettre aucun pole en contact avec le mercure, il s'est produit un courant du fil négatif. Un

contact momentané ayant été établi avec ce fil, et le circuit complété comme avant dans le liquide, il s'est établi un contre-courant du pole positif, moins étendu, mais en apparence plus violent dans son action que celui du pole négatif. En conséquence, le globule a acquis la figure ci-jointe, ayant une élongation obtuse en *Z*, le point le plus près du pole négatif, et une plus pointue en *C*, près du pole positif, avec une espèce d'épaulement en *ab*. La couche d'oxide produite en *Z* était ainsi balayée vers *C*; mais elle n'atteignait jamais au-delà de la zone *ab*, où elle restait stationnaire et constante en quantité, étant absorbée vers le bord près de *C* aussi vite qu'elle était produite à l'autre.




On a ensuite établi un autre contact de courte durée avec le fil négatif, et, en le rompant, les courans de *C* ont été trouvés augmentés en force et en étendue, pendant que ceux de *Z* étaient proportionnellement affaiblis, la zone d'équilibre *ab* étant portée plus près de *Z*. Par un autre contact prolongé de peu de secondes, les courans négatifs étaient rassemblés dans un très-petit espace vers *Z*; et en prolongeant le contact un peu plus

long-temps, son influence était entièrement détruite, et il s'établissait une circulation régulière du fil positif au pole négatif, à travers tout le globule.

Mais les effets ne s'arrêtaient pas là. En faisant durer le contact un temps considérable, les courans négatifs (de *Z*) étaient non-seulement détruits, mais changés en une autre direction contraire, c'est-à-dire, rayonnant dans toutes sortes de directions vers *Z*, les particules de mercure paraissant attirées vers ce point avec une force égale ou supérieure à celle avec laquelle ils étaient repoussés de *C*. Le pole positif étant tenu à quelque distance, et le négatif directement sur la surface, on a observé qu'il se rassemblait directement au-dessous, sur le mercure, une écume ou impureté, en forme d'une petite tache circulaire qui suivait exactement ses mouvemens; et lorsqu'elle était enlevée, le fluide métallique était violemment poussé vers le fil, en un jet de deux ou trois dixièmes de pouce de hauteur.

Le mercure a été mis ensuite en contact avec le fil positif. On n'a point observé d'oxidation sur sa surface pendant un temps considérable, durant lequel des courans violens continuaient encore à rayonner dans toutes sortes de directions du fil et *vers* le point *Z* (ou dans une direction opposée à celle qu'ils auraient prise dans le mercure s'il n'avait pas été touché par le fil). Par degrés cependant, il s'est établi une contre-radiation opposée au pole négatif, dont la sphère était d'abord très-limitée, mais qui s'est graduellement étendue en produisant une zone d'équilibre qui s'avançait rapidement vers le fil positif, et qui enfin l'a atteint. Au même instant où cela a eu lieu, l'oxidation du mercure a com-

mencé en *Z*, et s'est étendue rapidement sur toute la surface, formant une croûte épaisse.

Si le contact du fil positif était continué assez long-temps, le mercure, débarrassé de sa croûte, était réduit à son premier état, comme s'il venait seulement d'être introduit; mais si le contact était interrompu aussitôt que la croûte était entièrement formée, il se produisait une radiation du fil négatif, qui brisait la croûte et la balayait vers *C*, où elle se rassemblait et se dissipait. Mais au moment où cela arriva, et lorsque la surface du mercure se trouva entièrement éclaircie, elle s'arrêta un instant; une violente révulsion eut lieu, et un courant puissant partit de *C*, celui de *Z* étant anéanti.

Ces effets observés pour la première fois (non réunis et en succession, comme on le suppose ici, mais peu à peu) parurent extrêmement embarrassans; mais on ne tarda pas à en trouver la clé. J'observai que l'effet d'un contact du pole négatif était, proportionnellement, d'autant plus fort pour produire la radiation positive, que le mercure avait circulé plus long-temps, avant d'établir le contact; et après un examen plus attentif, je trouvai que le fil de platine qui terminait le conducteur négatif de la pile s'était amalgamé avec un peu de mercure, qui, durant le temps que le circuit était complété dans le liquide, s'était allié au sodium, et l'effet parut toujours être en proportion avec la quantité de ce métal qu'on pourrait juger s'être produite. Je ne balançai pas, par conséquent, à attribuer toutes les nouvelles propriétés acquises par le mercure à la présence du sodium, et en introduisant dans une certaine quantité de mercure pur une petite quantité d'amalgame de sodium préparé à

dessein, je trouvai ma supposition vérifiée; une violente rotation négative se produisit immédiatement au moment où le circuit fut complété, quoique je n'eusse permis à aucun des fils de toucher le mercure.

La présence de ce métal si éminemment électro-positif, contre-balance donc l'effet du pole négatif, et exalte celui du pole positif, proportionnellement à sa quantité, jusqu'à ce qu'enfin il le surpasse entièrement, et même renverse le premier effet. Comme la quantité de sodium de l'alliage, dans l'expérience précédente, diminuait par l'action oxidante du pole positif, le mercure, comme nous l'avons vu, reprenait par degrés ses propriétés primitives. Le seul effet qui puisse paraître obscur est la révulsion remarquée dans la direction des courans, lorsque la dernière portion d'oxide disparaît. C'est dans le fait un phénomène très-compliqué, mais on en peut donner une explication facile. L'oxidation a lieu sur la surface du métal avant que les dernières portions de sodium soient enlevées; et il est aisé de le prouver. Nous n'avons qu'à détruire entièrement le circuit, et la croûte d'oxide disparaîtra graduellement (à moins qu'on ne la laisse aller trop loin), étant réduite par le sodium qui est au-dessous. Sans la croûte d'oxide, les courans, comme on l'a vu, seraient dans une direction positive; mais l'oxide agissant sur la couche de molécules métalliques, immédiatement au-dessous de lui, les prive de leur sodium qu'il change en alcali, laissant une couche de mercure pur. Maintenant nous avons vu que dans *celui-ci*, la rotation, dans les circonstances de l'expérience, aurait une direction négative. Nous n'avons donc qu'à admettre que l'action particulière par laquelle les rotations sont pro-

duites est bornée à la surface commune du mercure et du liquide, pour avoir une idée parfaite de la manière dont tout s'opère. La couche de mercure pur sur la surface est déplacée par un courant négatif, conformément à ses relations naturelles, et remplacée immédiatement par une couche de mercure alliée de sodium, de l'intérieur; celle-ci, à son tour, est privée de sodium par l'oxide en contact avec elle, et est immédiatement déplacée comme la précédente, et ainsi successivement jusqu'à ce que toute la croûte d'oxide soit épuisée ou balayée : alors le mercure restant, retenant encore un excès de sodium, et rendu instantanément homogène, est attaqué comme un alliage, de la manière déjà décrite.

Que le sodium existe dans le mercure lorsqu'il a acquis la propriété de produire des courans venant du pole positif (que, pour abréger, j'appellerai dorénavant *propriété positive*) par son contact avec le fil négatif, c'est ce qu'on peut montrer par une expérience simple et intéressante. Si l'on détache le fil négatif et que l'on rompe le circuit, le mercure reste tranquille au fond du vaisseau, à l'exception d'un léger mouvement irrégulier à sa surface, et de quelques petites bulles de gaz qui se dégagent de temps en temps. Maintenant touchez-le, sous le liquide, avec un fil métallique quelconque (pourvu que ses extrémités ne soient pas alliées avec le sodium), et une action violente commencera à l'instant. Le mercure se précipite de tous côtés vers le fil en un courant superficiel, comme pour se débarrasser de son sodium, et il se dégage du fil une quantité abondante d'hydrogène, non-seulement au point de contact avec le mercure, mais à tous ceux où il touche le liquide. En un mot,

le sodium, le fil et le liquide forment une combinaison voltaïque, et l'électricité produite par le contact est assez puissante pour décomposer la portion aqueuse du dernier en grande abondance. L'action dure plus ou moins de temps, selon que le mercure est plus ou moins chargé de sodium (rarement cependant plus de 10 à 12 secondes), et lorsqu'elle est terminée, le mercure a perdu sa propriété positive, et se trouve réduit à son ancien état (pourvu que le contact soit fait avec le cuivre ou le platine), ce qu'une longue immersion dans le fluide sans un tel contact n'aurait pas entièrement effectué.

Si le mercure, ainsi chargé de sodium, n'est point tout-à-fait couvert de liquide, et que le contact métallique soit établi vers le sommet du globule, hors du liquide, aucun effet n'est produit; mais si l'autre extrémité du fil métallique est courbée en rond et mise en contact avec le liquide, à quelque distance du mercure, l'action violente décrite ci-dessus commence aussitôt; avec cette différence que *maintenant* la surface du mercure est radiée dans toutes les directions du point de contact à la circonférence du globule, et que l'hydrogène se dégage en totalité à l'autre extrémité du fil dans l'endroit où il touche le liquide. Une petite considération suffira cependant pour montrer que ces deux effets sont une pure modification d'un seul. Ce n'est pas du fil ou vers le fil, comme tel, que les particules superficielles rayonnent; elles suivent simplement la direction des courans électriques prédominans dans leur passage *à travers le liquide*. C'est, dans le fait, la source de l'électricité positive, qui se trouve dans le mercure

lui-même, au lieu de lui être communiquée d'une pile, à une certaine distance.

Ayant ainsi tracé distinctement l'altération des effets mécaniques, par le contact avec le pole négatif, jusqu'au moment où le mercure s'amalgame avec le sodium, la connaissance de ce fait me conduisit à rechercher plus minutieusement les effets de différens métaux, dans leur contact et leur amalgamation avec le mercure, et les résultats que j'ai obtenus dans le cours de ces recherches me paraissent si remarquables que je ne puis m'empêcher d'en parler, surtout parce qu'ils donnent l'explication de presque toutes les anomalies qui m'embarrassèrent dans le commencement de mon travail. Pour rendre les effets moins sujets à objection, comme aussi plus distincts et plus frappans, j'ai employé, pour liquide conducteur, des solutions de potasse ou de soude fortement imprégnées d'alcali caustique. Cela donne à la fois l'avantage d'un très-grand pouvoir conducteur, et de ne point produire de courans quelconques dans le mercure, aucun pole n'étant mis en contact avec lui. Quels que soient les mouvemens qui prendront naissance en introduisant un nouveau métal, on devra naturellement les attribuer à sa présence, et le mercure pourra être regardé comme purement passif, du moins en ce qui regarde l'action mécanique.

*Potassium.* Des contacts répétés d'une seconde avec le pole négatif d'une pile de huit paires, en faible action, au-dessous de la potasse liquide, ont donné à 100 grains de mercure la propriété de tourner violemment du pole positif au pole négatif, le circuit étant complété dans le liquide seulement. Le mouvement de rotation était

puissant lorsque l'alliage était délayé dans plus de 100 grains de mercure pur, et était encore sensible après l'addition d'une autre quantité égale. Dans ce dernier cas, la quantité de potassium existante pouvait à peine être estimée au millionième de toute la masse.

*Sodium*. J'ai électrisé au-dessous d'une solution de soude 100 grains de mercure pendant 80 secondes, avec l'appareil voltaïque ci-dessus, le mercure étant en contact avec le fil négatif. Le mercure a ensuite été lavé promptement et introduit sous une petite cloche de verre avec de l'acide hydrochlorique, qui a dégagé un volume d'hydrogène pur, égal aux 0,95 de celui du mercure. Conséquemment il contenait moins de $\frac{1}{50}$ de grain de sodium; et comme avec d'aussi petites quantités la production de l'alliage métallique doit se faire uniformément, un contact d'une seconde aurait produit seulement $\frac{1}{80}$ de la totalité du sodium, ou $\frac{1}{4000}$ de grain, c'est-à-dire, $\frac{1}{400000}$ de toute la masse. Cela posé, on a établi un contact d'une seconde de durée, dans des circonstances semblables, avec 100 grains de nouveau mercure, et celui-ci a acquis un mouvement puissant de rotation. Délayé maintenant avec une quantité égale de mercure pur, ce qui réduisait le sodium à la proportion de $\frac{1}{400000}$, la rotation était affaiblie, mais était encore pleine et distincte. Délayé de nouveau avec 100 grains de mercure, de manière que la proportion du sodium n'était plus que de $\frac{1}{1200000}$, on observait encore une radiation considérable du pole positif, mais ne s'étendant pas sur toute la surface. Enfin, en réduisant la proportion à $\frac{1}{1600000}$ par l'addition d'une nouvelle quantité

de mercure, on observait encore une faible radiation dans la même direction.

*Ammonium*. Une quantité considérable de l'amalgame de cette singulière substance, introduite dans le mercure au-dessous d'une solution de soude, *ne lui a communiqué aucun mouvement de rotation*. Ce résultat remarquable, qui tend à séparer l'ammonium par un caractère défini des autres bases métalliques des alcalis, s'est reproduit dans une nouvelle expérience. Il serait possible qu'une complète insolubilité de l'amalgame dans le mercure pur fût la cause de ce manque d'action, mais la supposition pourrait être regardée comme forcée.

*Barium*. Ce corps métallique s'amalgame avec la plus grande rapidité en employant huit paires et le muriate de baryte. Un petit globule de mercure placé au fil négatif pousse de belles arborisations et se fige en un amalgame solide, presque permanent, très-cristallin. Une très-petite quantité de cet alliage introduite dans le mercure, au-dessous d'une solution de soude, lui donne la propriété positive. Son efficacité à renverser la direction des courans est extrêmement sensible lorsqu'il est introduit dans une quantité de mercure tenu dans un état de rotation négative au-dessous de l'acide oxalique. L'amalgame de mercure et de barium ajouté en petite quantité à du mercure pur, lui donne la même propriété que nous avons fait remarquer dans le cas du sodium, de former une combinaison voltaïque avec un fil mis en contact avec lui, au-dessous d'une solution saline, et l'action ainsi produite est beaucoup plus durable.

*Strontium, calcium*. Ces métaux, avec les faibles pouvoirs employés dans mes expériences, ont manifesté

une non disposition remarquable à s'allier au mercure. La petite quantité de calcium déposée sur un fil négatif amalgamé empêcha son contact avec un plus gros globule de mercure à un tel degré, qu'il ne fut possible d'établir aucune communication électrique. Au-dessous d'une solution de strontiane, le contact du fil négatif communiqua d'une manière sensible, quoique très-faible, la propriété rotatoire positive. Que cet effet n'était point dû uniquement au faible pouvoir conducteur du liquide; c'est ce qui fut prouvé en ajoutant un peu d'amalgame de zinc; car le mercure commença immédiatement à tourner rapidement. L'influence du *magnésium* est plus sensible que celle du strontium ou du calcium, à cause de la plus grande facilité avec laquelle il s'amalgame.

*Zinc*. Lorsque du mercure pur est électrisé sous des solutions de potasse ou de soude sans être en contact avec aucun des poles de la manière si souvent décrite, il ne donne aucun signe de rotation, comme on l'a déjà observé; mais si on le touche un instant avec l'extrémité d'un fil propre de zinc, ou si on y porte un atome d'amalgame solide de zinc, aussi peu qu'on pourra en prendre sur la pointe d'une aiguille, il se met à tourner violemment dans une direction positive (ou du pole positif).

Un alliage d'une partie de zinc et de 10,000 de mercure pur tourne avec la plus grande violence. S'il est délayé dans une quantité de mercure dix fois plus grande, la force de rotation ne paraît que peu diminuée. La proportion du mercure fut augmentée jusqu'à 400000, et la rotation, quoique faible, était encore complète, se pro-

pageait à travers la totalité d'une masse considérable d'alliage; et même, lorsque le zinc ne fit plus que le $\frac{1}{700000}$ du tout, on observait encore un courant rayonnant à une courte distance du pole positif. Mais quand le zinc ne forma plus que $\frac{1}{1000000}$, on n'apercevait aucune différence entre l'alliage et le mercure pur.

*Plomb.* Un alliage de 200 parties de mercure et de 1 de plomb possédait à perfection la propriété positive. Lorsque la proportion du mercure fut de 667, la rotation était encore produite, mais elle n'était pas pleine et régulière. Portée à 1000, on n'observait plus qu'un léger courant rayonnant du pole positif à une courte distance, et à 2000, le mouvement fut entièrement éteint.

*Etain.* Ce métal agit de la même manière et à-peu-près avec la même énergie que le plomb, autant que j'en ai pu juger à l'œil. Il est certainement de beaucoup inférieur au zinc.

*Fer.* Il communique la propriété en question, quoiqu'il existe dans le mercure en si petite quantité qu'il ne puisse être découvert par le prussiate de potasse. D'un autre côté, le *cuivre* ne la communique point, quoiqu'on augmente sa proportion au point de donner une dissolution bleue dans l'acide nitrique, et même d'empêcher entièrement le mercure de couler.

Parmi les autres métaux que j'ai essayés, l'*antimoine* est le seul qui exerce une action sensible; mais elle est si faible que je suis disposé à l'attribuer à l'impureté de l'antimoine employé, surtout à cause que ce métal est placé très-bas dans l'échelle d'énergie électro-positive. Le bismuth, l'argent et l'or, quoiqu'existant en

quantité considérable dans le mercure, ne lui communiquent aucun pouvoir quelconque de rotation.

Cette propriété des métaux a donc un rapport évident avec leurs énergies électro-positives. Elle peut même en donner une évaluation numérique, grossière à la vérité et soumise à mille objections, mais non pas sans valeur dans l'état actuel de notre complète ignorance sur la plupart des phénomènes chimiques les plus intéressans. S'il est vrai que l'universalité des effets chimiques dépend d'attractions et de répulsion électriques, toute chose qui nous offre la perspective, quoiqu'éloignée, d'arriver un jour à une connaissance exacte des intensités de ces forces, doit être regardée comme importante. On peut objecter que c'est seulement l'excès de l'énergie électro-positive du métal allié, sur celle du mercure ou de l'alliage sur le liquide, que nous mesurons dans ces expériences, par la quantité qui en est nécessaire pour donner un certain mouvement appréciable. Cependant c'est quelque chose que d'avoir rendu probable que ces excès dans les cas du sodium, du zinc et du plomb, sont dans des proportions non pas très-éloignées des nombres 1,600,000; 700,000 et 1,000; ou 1,600; 700 et 1. L'effet étant purement mécanique, si nous connaissions la loi de son action, nous pourrions même déterminer l'intensité des forces motrices exercées sur une molécule d'un de ces métaux; mais du moins dans notre ignorance sur cet objet, nous sommes sûrs que cette intensité doit être incomparablement plus grande que la pesanteur. Une masse de mercure d'un pouce de diamètre, alliée avec $\frac{1}{100000}$ de son poids de zinc, se meut d'un mouvement si rapide, qu'il ne faut pas une seconde pour le transport à travers sa surface

des particules flottant dans le liquide. Maintenant si nous supposons une accélération uniforme dans le mouvement d'une molécule d'une extrémité à l'autre de ce transport, l'intensité de la pesanteur étant prise pour unité, celle de la force accélératrice de chaque particule de l'alliage serait

$$\frac{1 \text{ pouce}}{16 \text{ pieds} \times (1'')^2} = \frac{1}{12 \times 16} = 0{,}00521 ;$$

et chaque particule de zinc étant chargée de 100000 fois son poids de matière inerte, l'intensité de la force agissant sur ses molécules ne doit pas être au-dessous de 521 fois leur gravité ; mais elle est probablement immensément plus grande. Bien loin d'être uniformément accélérées dans tout leur cours, les molécules, si on les examine attentivement, sont vues évidemment se mouvoir avec une vitesse de plus en plus petite, à mesure qu'elles s'écartent du point de radiation ; et c'est demander bien peu que de supposer leur vitesse à un centième de pouce de ce point, double de la vitesse moyenne avec laquelle elles parcourent le diamètre. Pour produire cet effet, la force (si on la suppose agir uniformément à travers ce petit espace) doit être augmentée 100 fois, ou avoir une intensité plus de 50000 fois plus grande que la gravité. De telles considérations tendent, si je ne me trompe, à étendre beaucoup nos vues et nous préparent à admettre les conclusions *numériques* les plus extravagantes concernant les corps moins à la portée de nos sens. Qu'une aussi petite quantité de matière étrangère soit capable de communiquer des mouvemens mécaniques sensibles, et des propriétés d'un caractère défini au corps avec lequel elle est mêlée, c'est peut-être le fait le plus

extraordinaire observé jusqu'à présent en chimie. Lorsqu'on voit des énergies aussi intenses exercées par les formes ordinaires de la matière, on peut très-raisonnablement demander quelle preuve on a de l'impondérabilité d'aucun de ces agens puissans auxquels paraît due une si grande partie de l'activité des corps matériels.

J'étais impatient d'examiner si l'on pourrait obtenir des mouvemens semblables avec d'autres métaux que le mercure et ses alliages lorsqu'ils sont en fusion. A la vérité, les expériences précédentes ne permettent guère de doute sur cette possibilité; mais ici l'expérience directe ne laisse pas que de présenter de grandes difficultés. Je n'ai pu réussir jusqu'à présent qu'avec l'alliage fusible de plomb, étain et bismuth, sans l'intervention du mercure. Cet alliage, avec un peu d'attention, peut être passablement préservé de pellicules superficielles et de bulles d'air, lorsqu'on le tient en fusion au-dessous d'une dissolution bouillante de sucre acidulée avec de l'acide phosphorique: dans ce cas, il s'établit une circulation semblable à celle que donne le mercure, savoir, du pole négatif au pole positif. En n'employant cependant qu'une dissolution seule de sucre, l'influence de l'étain et du plomb devint sensible, la radiation prédominante partant du pole positif; néanmoins on observait un contre-courant du pole négatif.

Pareillement le contact du pole positif communique des propriétés particulières au mercure, mais moins fortement prononcées, et qui paraissent dépendre en partie de la couche d'oxide formée sur sa surface, et en partie de l'absorption de l'oxigène par le métal lui-même;

chose qui n'est point rendue improbable par l'analogie avec l'argent et les autres métaux, qui, lorsqu'ils sont en fusion au contact de l'air, absorbent l'oxigène sans perdre leur apparence métallique. Voici les principaux faits que j'ai observés.

Des quantités égales de mercure furent électrisées pendant des temps égaux dans des capsules séparées, sous des dissolutions semblables de carbonate de soude, l'une en contact avec le fil négatif, et l'autre avec le fil positif. En les mêlant ensemble, le mercure reçut l'action comme si le métal eût été pur, et ne donna aucun signe de la présence du sodium. Ici le mercure en contact avec le pole positif avait acquis une vertu capable de détruire l'effet d'une imprégnation considérable de sodium, qui, sans cela, n'eût pas manqué d'être violent. Lorsque le mercure est mis en contact avec le pole positif, sa surface se couvre d'une membrane d'oxide d'une épaisseur plus ou moins considérable. Maintenant rompez non-seulement le contact, mais même le circuit, le mercure restera tout-à-fait tranquille; mais au moment où il sera touché avec un fil métallique propre (non électrisé), l'oxide disparaîtra rapidement au point de contact, comme s'il était absorbé, et celui d'alentour se précipitera de tous côtés à sa place, produisant sur la surface un courant rayonnant vers le fil. Il n'est point indifférent que le contact soit établi avec un métal quelconque; le potassium, le sodium, le barium, l'étain et le zinc, sont ceux qui produisent l'action la plus violente, la surface brillant alors instantanément d'une espèce d'éclat, comme l'argent en fusion. L'étain est, sous ce rapport, supérieur au zinc. L'effet produit par le fer est assez considérable; celui du cuivre moindre,

et l'antimoine et le platine n'en produisent aucun, de même que le phosphore.

L'effet dépend à la fois de l'oxidabilité des métaux et de leur propriété de s'amalgamer, et ces deux circonstances indiquent la manière dont on doit opérer. Il se fait une amalgamation au point de contact, qui met le métal oxidable en contact chimique avec l'oxide immédiatement environnant, et celui-ci est instantanément réduit. Le mouvement de la surface est cependant, à n'en pas douter, un effet électrique; car lorsqu'on touche le mercure, *non* récemment électrisé, au-dessous des acides, etc., avec des fils métalliques, les effets ne sont pas les mêmes. Le contact du cuivre, par exemple, produit immédiatement un courant violent se portant *du* point de contact, au lieu de se diriger *vers* ce même point, et cet effet cesse dès le moment que le contact devient parfait par l'amalgamation, et ne peut être renouvelé qu'en coupant l'extrémité du fil amalgamé, et établissant un nouveau contact.

Lorsque le mercure est électrisé en contact avec le pole positif sous *certaines* dissolutions métalliques (le nitrate de cuivre, par exemple), et qu'on rompt le circuit en ôtant les deux fils, le courant continue faiblement pendant quelque temps après la cessation du pouvoir électrique, dans la même direction, c'est-à-dire, du point *Z* opposé au pole négatif. Par degrés il devient plus intense, et la membrane qui s'était formée pendant l'électrisation est balayée vers le point *C*, à l'opposé de la première position du fil positif, où elle s'accumule, laissant enfin la portion de la surface en *Z* tout-à-fait brillante. Aussitôt que cet effet est produit, les courans augmentent con-

sidérablement d'intensité, et partent en rayonnant du point *Z* avec beaucoup de violence. Cette action spontanée continue souvent un temps considérable. Si l'on fait agir ensuite successivement le fil négatif vis-à-vis deux points *z z'* du mercure, qu'on le retire promptement, et que le circuit soit interrompu, ces deux points deviennent deux centres desquels partent simultanément dans toutes les directions, des courans spontanés. Si après avoir fait agir le pole négatif verticalement au-dessus d'une grande surface plate de mercure, on interrompt le circuit, il s'établit aussitôt une radiation violente partant du point immédiatement au-dessous de l'endroit où était placé le pole négatif.

Si on retire les fils de manière à compléter le circuit dans le liquide, la membrane formée pendant le contact du pole positif est balayée vers le point *C* opposé à ce pole, et il s'établit un courant violent rayonnant de *Z* vers *C*. Si on le laisse continuer quelque temps, et qu'on rompe ensuite le circuit, le mouvement continue comme si l'électricité passait encore; mais si l'on agite le mercure de manière à briser la croûte rassemblée en *C*, la régularité du mouvement est troublée; la surface du mercure est mise dans une sorte de frétillement (fritillation) dû à un nombre immense de petits tourbillons très-rapides; et ce n'est qu'au bout de quelque temps que les courans reprennent leur direction régulière et uniforme.

Ces phénomènes démontrent l'existence d'un système de courans rayonnans *vers* chaque molécule de la croûte sur la surface. En conséquence, aussi long-temps que la croûte reste brisée en petites portions, et répandue sur toute la surface, les courans sont irréguliers et in-

certains ; mais aussitôt que ces portions commencent à se réunir, ils prennent une direction uniforme, à savoir, vers l'endroit où, soit par le contact du vaisseau, soit par toute autre cause, elles ne rencontrent point de contre-courans qui leur fasse résistance. Toutefois, la manière dont la croûte agit est encore un peu obscure : il est très-probable qu'elle forme une combinaison voltaïque avec le mercure et le liquide.

En réfléchissant sur les faits détaillés dans ce Mémoire, nous avons à considérer comme exerçant très-probablement une influence matérielle sur les résultats, premièrement, la grande différence de conductibilité entre les corps métalliques mis en mouvement, et le liquide au-dessous duquel ils sont immergés. Il n'est pas invraisemblable qu'elle entre comme une des conditions essentielles du phénomène, surtout d'après ce qui paraît résulter de toutes les expériences, que l'action particulière, quelle qu'elle soit, par laquelle les courans sont produits, s'exerce seulement à la surface commune des fluides. Je n'ai jamais pu produire la moindre trace de tels courans sans la présence d'un métal liquide. Cette circonstance nous conduit à admettre qu'une seconde condition essentielle est une immiscibilité parfaite des liquides conducteurs, de manière à rendre la transition de l'un à l'autre tout-à-fait brusque. Outre ces deux conditions, on en trouve une troisième, qui n'est pas moins essentielle, dans une certaine relation chimique ou électrique entre eux. Au moyen de ces conditions, il n'est point du tout impossible que les phénomènes puissent recevoir une explication complète d'après ce que nous savons sur le passage de l'électricité à travers les conduc-

teurs, et les grands pouvoirs attractifs et répulsifs des électricités positives et négatives *entre elles*. Il est très-possible, par exemple, qu'un corps puissamment électro-positif, comme le potassium, existant dans du mercure, puisse avoir son état électrique naturel exalté par son voisinage du pole positif; et, étant ainsi repoussé, qu'il puisse prendre le seul chemin que la résistance du métal d'un côté, et la cohésion de l'autre, lui permettent, c'est-à-dire, le long de la surface pour s'éloigner du pole positif. Il *peut* même agir comme un *transporteur* d'électricité positive, qui *peut* lui adhérer trop fortement pour être transmise à travers le mercure (qui, quoique un bon conducteur, est loin d'en être un parfait); et arrivé à l'autre côté du globule, il peut là, par l'influence du pole opposé, perdre son état électrique exalté. Cette explication s'accorde avec celle des autres phénomènes qui ont été attribués à une cause semblable; je veux parler des tendances des vapeurs des corps électro-positifs et électro-négatifs vers les conducteurs électrisés en sens contraire, que M. Brande a décrites dans une lecture bakerienne faite dernièrement dans cette société. Cependant on ne doit pas se dissimuler que cette explication est remplie de difficultés, et que le mode d'action d'un milieu moins conducteur qu'on y admet est loin d'être clair; on ne voit pas même pourquoi un tel milieu est nécessaire, à moins qu'on ne conçoive qu'il retarde ou modifie d'une autre manière le courant électrique qui le traverse, et que par là il le dispose à une prompte combinaison avec les molécules métalliques.

Il se présente sans doute une autre manière de voir;

c'est de considérer l'action qui a lieu à la surface commune des deux milieux inégalement conducteurs, comme *sui generis*, et dépendante d'un nouveau pouvoir du courant électrique d'une nature ayant quelque analogie avec l'action magnétique, ou peut-être en résultant; mais, dans l'état actuel de nos connaissances, ce serait une hypothèse aussi hardie que vague.

Mais, quoi qu'il en soit, les phénomènes sont certainement intéressans et promettent une ample matière à des recherches futures. En attendant, il n'est point improbable que plusieurs phénomènes des petits mouvemens intestins, ordinairement attribués à l'attraction capillaire, à des productions de chaleur ou à d'autres causes, puissent être rapportés à des effets électriques. Il en est un que je ne dois pas oublier de mentionner, d'après la ressemblance *extérieure* frappante qu'il a avec plusieurs de ceux rapportés dans ce Mémoire. Je veux parler des mouvemens décrits par M. Amici dans la sève du chara, qu'on observe dans certaines files de globules disposés dans la direction de la tige. Le mouvement du fluide, dans le voisinage de ces globules, a été attribué par M. Amici lui-même à l'électricité développée par ces globules de quelque manière inconnue; et il ressemble si fort à ce qui arrive lorsqu'un courant électrique passe sur une rangée de petits globules de mercure placés sous un milieu conducteur, qu'il n'y a pas de difficulté à concevoir une analogie entre les causes.

ADDITION.

Depuis que ce Mémoire a été écrit, M. Faraday a eu la bonté de m'en montrer un de M. Serrulas dans le

*Journal de Physique* pour 1821 (vol. XCIII), dans lequel sont rapportés un ou deux des phénomènes que j'ai décrits, et d'autres très-curieux dépendant des mêmes causes (quoique l'auteur ne l'admette pas). Comme ces phénomènes eux-mêmes sont intéressans, et que la théorie que M. Serrulas en a donnée est insuffisante (ainsi que je le montrerai aisément), on me pardonnera d'extraire tout le passage de son Mémoire; regrettant en même temps de n'avoir pu trouver un premier Mémoire sur le même sujet, cité par lui, et dans lequel son explication est donnée en son entier.

Les phénomènes en question se rapportent aux mouvemens gyratoires singuliers que prennent les alliages de potassium lorsqu'ils flottent en petits fragmens sur le mercure au-dessous de l'eau. Après avoir cité ceux de l'alliage de bismuth, qu'il décrit comme particulièrement énergiques et durables, il s'exprime ainsi :

« Ne serait-il pas intéressant d'étudier l'action électrique qui se manifeste dans cette circonstance pendant l'oxidation du potassium? Elle me semble digne d'attention par sa liaison avec la décomposition de l'eau dont elle dépend uniquement.....

» La pellicule légère qui se forme dans ce cas n'est que le bismuth divisé provenant de l'alliage retenant entre ses molécules des bulles d'hydrogène extrêmement fines. Cette pellicule, comme je l'ai dit, est attirée avec une grande promptitude par les substances métalliques mises en contact avec le mercure, sur lequel les fragmens d'alliage sont en mouvement.

» J'ai dû considérer cette pellicule comme jouissant de

l'électricité positive, attendu qu'elle se porte vivement vers l'extrémité négative d'une pile mise en activité, et qu'elle est au contraire puissamment repoussée par le pole positif. Si les deux conducteurs touchent seulement l'eau du bain, l'attraction et la répulsion ont lieu dans le sens indiqué. L'effet est encore le même si l'un des fils touche le mercure et l'autre l'eau. La pellicule se fixe au pole négatif, d'où elle est chassée avec force par l'approche du pole opposé. Elle s'écarte, et l'hydrogène de l'eau décomposée se dégage sur les bords, qui, dans ce cas, font partie du conducteur et le terminent. Si les deux fils plongent dans le mercure, il est bien entendu qu'il ne se manifeste plus rien.

» Quand, au lieu d'eau simple, le bain de mercure est couvert d'une dissolution peu chargée de chlorure de sodium, le tournoiement des fragmens est plus lent. L''hydrogène produit se trouve engagé et retenu presqu'entièrement par la pellicule du bismuth; l'eau en devient nébuleusé. A l'instant où l'on a plongé dans le bain une tige métallique, on remarque autour de celle-ci un frémissement; les mouvemens cessent et sont arrêtés tant que la tige reste plongée; elle fixe la pellicule dans toute l'étendue du bain; les fragmens d'alliage y sont emprisonnés; mais aussitôt que la tige est retirée, *l'effluve d'hydrogène écarte la pellicule, et les mouvemens recommencent.*

» Un fil étant plongé sur un point quelconque d'un bain où tournoie l'alliage, même dans un endroit éloigné de ce tournoiement, la partie plongée de ce fil se couvre en peu de temps d'une multitude des bulles d'hydrogène. Ne pourrait-on pas encore, d'après cette observation,

*qui prouve que toute la surface du bain est parcourue par de l'hydrogène*, ne pourrait-on pas trouver, dans l'émission rapide et abondante de ce gaz, la cause de l'électricité, quand on considère que l'air atmosphérique dirigé avec un soufflet sur un carreau de verre donne à ce carreau l'électricité vitrée ? ou bien cette effluence d'hydrogène qui pousse vivement sur le mercure les molécules de bismuth non amalgamé, qui les réunit sous forme de pellicule, produit-elle entre les deux métaux un frottement qui développe cette électricité ? »

D'après ces passages, il paraît naturel de conclure 1°. que M. Serrulas conçoit premièrement, que la production, le mouvement, etc., de la pellicule de la surface ont leur source dans l'impulsion mécanique actuelle des effluves d'hydrogène, partant dans toutes sortes de directions du potassium au moment de son oxidation; 2°. que cette radiation matérielle de l'hydrogène est propagée le long de la surface à toute distance; 3°. que l'hydrogène dégagé en bulles du fil métallique plongé dans le mercure, est cet hydrogène actuel rayonnant, transporté et rassemblé sur la surface de toutes les parties du mercure; 4°. que la friction de l'hydrogène ainsi rayonnant produit l'électricité, et non l'électricité l'hydrogène; et enfin, que le mouvement *gyratoire* des fragmens eux-mêmes est une conséquence de la réaction de l'hydrogène qu'ils lancent pendant leur oxidation au moyen de l'eau.

On rend cependant beaucoup mieux raison de ces phénomènes d'après les principes établis dans ce Mémoire, sur la connaissance des propriétés communiquées au mercure par son alliage avec le potassium. Mais il est d'a-

bord nécessaire de rappeler que le pur contact d'un métal susceptible d'amalgamation, même pendant un instant, communique ses propriétés particulières à toute la masse, presque dans le moment du contact. Les expériences rapportées le prouvent suffisamment, et on peut encore le montrer promptement par la suivante. Qu'on mette une certaine quantité de mercure dans un vase contenant de l'acide muriatique. il ne se manifeste aucune action; mais si on le touche avec un fil de zinc, il se couvrira aussitôt de bulles dégagées abondamment de tous les points de sa surface.

D'après les circonstances des expériences de M. Serrulas, il est donc évident que son mercure doit avoir toujours été imprégné sensiblement de potassium, et le liquide surnageant de potasse; et ce qui le prouve c'est que les effets du courant électrique coïncident avec ceux que j'ai établis devoir se produire toujours dans de telles circonstances. Quant à la cause assignée à ces effets par M. Serrulas, savoir, l'énergie électro-positive de la pellicule, elle est prouvée n'être point réelle, par le simple fait que la violence du mouvement est toujours proportionnelle à la propreté de la surface, et qu'elle est la plus grande lorsqu'il n'y existe aucune pellicule; d'autant plus encore que la pellicule était *ici* formée de bismuth métallique, substance incapable, comme on l'a vu, de produire un tel effet.

Le mouvement gyratoire des fragmens est produit de la manière suivante : une vive excitation voltaïque se développe au point de contact des deux métaux aussi différens que le mercure et le potassium. Le mercure devient fortement positif, et les fragmens flottans né-

gatifs. Le circuit est complété par le liquide alcalin ; et le mercure étant allié avec une portion de potassium, et étant lui-même le pole positif de la combinaison, nous avons ici le cas de l'expérience analogue rapportée plus haut avec le potassium, et le résultat, tel qu'il est énoncé par M. Serrulas, est précisément celui que j'ai obtenu : la radiation des courans du point d'immersion. Ceux-ci, une fois produits, poussent devant eux le fragment dans lequel ils ont pris naissance, dans la direction suivant laquelle il expose la plus grande surface à leur action.

L'attraction de la pellicule vers une tige métallique plongée dans le mercure est aussi une conséquence directe de l'alliage du potassium existant dans le mercure, ainsi que le dégagement du gaz de la surface du fil. C'est dans le fait précisément l'expérience qui a été décrite plus haut, et elle n'a d'autre rapport avec les fragmens flottans ou avec quelque hydrogène que ce soit qu'ils peuvent dégager dans le moment, sinon que leur contact sert à fournir du potassium au mercure.

Il serait par conséquent inutile de pousser cet examen plus loin, puisque tous les phénomènes décrits par M. Serrulas ne sont que des cas particuliers de ceux que j'ai observés. Quant à ce qui regarde la production de courans par l'impulsion de l'hydrogène rayonnant, je demanderai comment il se fait que les courans sont produits (lorsque le pole positif est mis en contact), pendant qu'une croûte épaisse et dure d'oxide couvre toute la surface qui doit, à ce qu'il semble, la défendre effectivement de l'action de l'hydrogène. Cependant nous avons

vu que les courans continuent leur marche au-dessous de cette croûte : on ne voudra sûrement pas soutenir que l'hydrogène trouve passage entre l'oxide et le métal.

---

## De *la Présence de l'oxalate de chaux dans le règne minéral; existence du même sel en quantité énorme dans les plantes de la famille des lichens, et moyen avantageux d'en extraire l'acide oxalique.*

Par M. Henri Braconnot, Correspondant de l'Institut.

Dans une herborisation que je fis il y a environ quatre ans aux environs de notre ville, je recueillis dans une cavité pratiquée sur le penchant d'une roche calcaire, une matière jaunâtre dans laquelle je supposais la présence d'un bitume ; elle ne faisait qu'une légère effervescence avec les acides, et ne contenait que des traces de fer ; je perdis de vue cette matière, et ce ne fut que long-temps après qu'en m'avisant de la faire bouillir avec une dissolution de carbonate de soude, je reconnus dans la liqueur alcaline une quantité assez notable d'acide oxalique. J'avais tout lieu d'être surpris d'un résultat aussi singulier, quoique je n'ignorasse pas que l'oxalate de fer avait été trouvé dernièrement cristallisé dans un lignite friable, et qu'il constituait un nouveau mi-

néral auquel M. Mariano de Rivero a donné le nom de *humboldtine* (1).

Comme la matière terreuse dans laquelle je reconnus l'oxalate de chaux se trouvait à la surface du sol, et que celui-ci était stérile, il me répugnait de supposer que des végétaux y avaient cru et laissé dans leurs débris une aussi grande proportion d'oxalate de chaux, sel que d'ailleurs on n'avait rencontré jusqu'à présent dans les plantes qu'en assez petite quantité; mais en examinant de nouveau la surface du sol, j'y remarquai çà et là quelques lichens crustacés; et comme j'avais déjà examiné plusieurs de ces cryptogames, entre autres la variolaire commune, je fus de nouveau frappé de l'énorme quantité de chaux que j'y trouvais, quantité qui s'élève à 18 pour cent. J'avais supposé dans mon analyse, dont j'ai publié les résultats dans les *Annales de Chimie et de Physique*, tom. VI, pag. 133, que ces 18 parties de chaux étaient unies à environ 34 parties d'une matière végétale inconnue; mais elles étaient réellement combinées à 29,4 d'acide oxalique, en supposant, d'après M. Thomson, que 38 de chaux saturent 62 de cet acide; je dois dire que si je n'ai pas d'abord reconnu une quantité aussi considérable d'oxalate de chaux dans la variolaire, c'est que, l'ayant traitée par l'acide muriatique affaibli bouillant, elle ne s'y est pas sensiblement dissoute. Voici, au reste, quelques expériences qui feront facilement comprendre l'origine de l'oxalate de chaux dans le règne inorganique. J'ai recueilli de nouveau de la variolaire commune sur

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 207.

un vieux hêtre malade, et il m'a été facile d'en détacher plusieurs hectogrammes du tronc de cet arbre. Ce lichen, pulvérisé et passé au tamis pour en séparer quelques portions d'écorce, a offert une poudre blanche qui ressemblait à une terre ou à un sel terreux. 100 parties de cette poudre ont perdu à la dessiccation 5 parties, et ont été mises en ébullition avec 100 parties de carbonate de soude cristallisé et une certaine quantité d'eau : la liqueur filtrée à travers un linge, et les eaux de lavages réunies à celles-ci, ont été saturées par l'acide nitrique, qui n'y a produit aucune effervescence. On a versé dans cette liqueur de l'acétate de plomb, et il s'est formé un précipité blanchâtre abondant, lequel, lavé sur un filtre, puis décomposé par l'acide sulfurique, a donné une liqueur à peine colorée, qui a fourni, par l'évaporation, de beaux cristaux d'acide oxalique : comprimés dans des doubles de papier gris, ils pesaient 15 $\frac{1}{2}$ parties. La variolaire ainsi traitée par le carbonate de soude a été mise en contact avec de l'acide muriatique très-affaibli; elle s'y est dissoute en partie avec une très-vive effervescence, quoiqu'avant ce traitement elle n'en produisît aucune avec le même acide; privée ainsi du carbonate de chaux mis à nu, on la fait bouillir de nouveau avec 50 parties de carbonate de soude; la liqueur saturée par l'acide nitrique a donné, par l'acétate de plomb, un nouveau précipité, lequel, décomposé par l'acide sulfurique, a encore produit 8 parties d'acide oxalique cristallisé. Après ce second traitement par le carbonate de soude, la variolaire a fait encore une nouvelle effervescence très-vive avec l'acide muriatique; mais elle n'était pas épuisée de tout l'oxalate de chaux qu'elle retenait.

100 parties de variolaire en poudre ont été mélangées avec 33 parties d'acide sulfurique concentré; on a délayé le mélange avec de l'eau et on l'a fait bouillir pendant environ ½ heure, puis on a filtré la liqueur à travers une toile pour séparer la portion insoluble, qui consistait en grande partie en sulfate de chaux; ce résidu lavé et les eaux de lavage réunies à la liqueur filtrée, qui n'avait qu'une légère couleur ambrée, ont laissé déposer par l'évaporation une petite quantité de sulfate de chaux. Cette évaporation a été continuée jusqu'à pellicule avec beaucoup de ménagement pour empêcher la réaction de l'acide sulfurique qui se trouvait en excès dans la liqueur; par le refroidissement, elle s'est prise en une masse cristalline, laquelle, comprimée fortement dans plusieurs doubles de papier gris, a donné 17 parties d'acide oxalique d'un blanc jaunâtre; mais on conçoit qu'il devait en rester beaucoup uni à l'acide sulfurique dans le liquide dont le papier gris s'était imbibé. J'ai reconnu à-peu-près la même quantité d'oxalate de chaux dans les espèces suivantes de la famille des lichens : *pertusaria communis; urceolaria scruposa; isidium coralinum; patellaria tartarea, —ventosa-rubra, — hematomma; bæomyces ericetorum; squammaria lentigera; placodium radiosum, — ochroleucum; psora candida.* L'oxalate de chaux est à ces cryptogames et à d'autres analogues, ce que le carbonate de chaux est aux lithophytes, ou le phosphate de chaux à la charpente osseuse des animaux les plus parfaits. L'oxalate de chaux diminue progressivement dans la famille des lichens, à mesure que les espèces perdent la contexture crustacée grenue pour prendre un aspect foliacé membraneux ou

cartilagineux : néanmoins ces derniers en retiennent encore une quantité remarquable.

D'après ce que je viens d'exposer, on voit que les lichens crustacés sont une source abondante où on pourra puiser l'acide oxalique et l'obtenir à bas prix, la variolaire commune se trouvant presque sur tous les vieux hêtres languissans, dans l'écorce desquels cette espèce est implantée et forme de larges croûtes blanches grumelées, raboteuses, plus ou moins épaisses. Il sera facile de la recueillir sur ces arbres de la même manière qu'on ramasse le lichen parelle pour la teinture, en raclant les rochers. On ne verra pas, je pense, sans quelqu'intérêt, que l'oxalate de chaux constitue près de la moitié du poids d'une foule d'êtres organisés dédaignés du vulgaire, qui ont joué et jouent encore un rôle important dans l'économie de la nature. Il semble, en effet, que c'est par eux que la végétation a commencé à la surface de la terre, puisqu'on les voit s'incruster aux rochers les plus durs et aux marbres les plus unis, qu'ils dégradent s'ils sont négligés. M. de Saussure en a rencontré jusque sur le sommet le plus élevé du Mont-Blanc. «Voici, dit M. de Humboldt, dans ses *Tableaux de la Nature*, les lichens dont la terre dénuée de végétaux, commence à se couvrir dans les pays du Nord, au Pérou : *bæomyces roseus*, — *rangiferimus ; lecidea muscorum-icmadophylla.* Quelques autres cryptogames s'y joignent pour préparer la végétation des herbes et des plantes. Entre les tropiques où les mousses et les lichens ne croissent abondamment que dans les endroits ombragés, quelques plantes grasses, telles que le *sesuvium* ou le *portulacaria*, suppléent aux lichens terrestres. »

Nancy, 18 mars 1825.

# ANALYSE *des Séances de l'Académie royale des Sciences.*

## *Séance du lundi* 21 *février* 1825.

M. LATREILLE fait un rapport verbal relatif au Mémoire de M. Loiseleur-Deslongchamps *sur les moyens d'obtenir chaque année plusieurs récoltes de soie.*

L'Académie va au scrutin pour l'élection d'un membre dans la Section de Médecine et de Chirurgie : sur 57 votans,

| | |
|---|---|
| M. Boyer réunit, au premier tour, | 26 suffrages ; |
| M. Serre | 14 |
| M. Dupuytren | 13 |
| M. Larrey | 2 |
| M. Laënnec | 1 |
| M. Jules Cloquet | 1. |

Au second tour ;

| | |
|---|---|
| M. Boyer réunit | 31 suffrages ; |
| M. Serre | 14 |
| M. Dupuytren | 11 |
| M. Larrey | 1. |

L'élection de M. Boyer sera soumise à l'approbation du Roi.

M. de Jussieu rend un compte verbal de la Dissertation de M. Roeper *sur les Euphorbes de l'Allemagne.*

M. Mirbel, au nom d'une Commission, fait un rapport sur un travail de M. Lamouroux relatif à la géographie des hydrophytes.

M. Beudant, au nom d'une Commission, rend compte

de la description géologique du bassin tertiaire du sud-ouest de la France, par M. de Basterot. (*Voyez* ce rapport, pag. 326 et suiv.)

*Séance du lundi 28 février.*

L'Académie, informée par M. Dulong de l'état actuel de la santé de M. Thenard, apprend avec beaucoup de satisfaction que l'accident qu'il a éprouvé n'aura pas de suites fâcheuses.

M. Opoix, auteur d'un procédé pour conserver le beurre frais, en envoie un échantillon renfermé depuis six mois dans un pot scellé par le maire de Provins.

M. John Lowry adresse un Mémoire *sur un nouveau système de projection pour les cartes géographiques*.

Une Commission rend compte du travail que M. Chevreusse avait présenté à l'Académie sur les propriétés physiques et chimiques du charbon. Les conclusions ont été que l'Académie, en approuvant le travail, devait engager l'auteur à continuer ses expériences et à lui communiquer ses résultats.

Ces conclusions ont été adoptées.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire lit un Mémoire intitulé : *Des Affinités naturelles du crocodile fossile de Caen, et de la formation, à son sujet, d'un nouveau genre sous le nom de* Teleo-Saurus.

M. Civiale lit une suite à son Mémoire *sur le Lithontripteur*.

M. Cauchy présente un Mémoire *sur les Intégrales définies prises entre des limites imaginaires*.

M. Parseval présente un théorème général sur les fonctions analytiques.

*Séance du lundi 7 mars.*

Le Directeur-général des Ponts et Chaussées invite l'Académie à accélérer le travail qui lui a été demandé par le Gouvernement sur les machines à vapeur à haute pression.

M. Ferrand adresse un nouveau dessin de son levier marin.

M. de Lacépède fait un rapport verbal sur l'*Histoire du Genre humain*, de M. Virey.

M. Mathieu, au nom d'une Commission, lit un rapport sur un instrument de l'invention de M. Puissant, destiné principalement au tracé des Panoramas, et que, par cette raison, il a appelé *Panorographe*.

M. Arago met sous les yeux de l'Académie un appareil qui montre sous une forme nouvelle l'action que les corps aimantés et ceux qui ne le sont pas exercent les uns sur les autres.

Dans ses premières expériences (*voyez* le Cahier de décembre 1824, page 363), M. Arago avait prouvé qu'une plaque de cuivre ou de toute autre substance solide ou liquide, placée au-dessous d'une aiguille aimantée, exerce sur cette aiguille une action qui a pour effet immédiat d'altérer l'amplitude des oscillations, sans changer sensiblement leur durée. Le phénomène dont il a entretenu aujourd'hui l'Académie est, pour ainsi dire, l'inverse du précédent. Puisqu'une aiguille en mouvement est arrêtée par une plaque en repos, M. Arago a pensé qu'il s'ensuivait qu'une aiguille en repos serait entraînée par une plaque en mouvement. Si l'on fait tourner, en effet,

une plaque de cuivre, par exemple, avec une vitesse déterminée, sous une aiguille aimantée renfermée dans un vase fermé de toutes parts, l'aiguille ne se place plus dans sa position ordinaire : elle s'arrête hors du méridien magnétique, et d'autant plus loin de ce plan que le mouvement de rotation de la plaque est plus rapide. Si ce mouvement de rotation est suffisamment prompt, l'aiguille, à toute distance de la plaque, tourne elle-même d'une manière continue autour du fil auquel elle est suspendue. Nous reviendrons prochainement sur les lois de ces singuliers phénomènes.

M. Geoffroy termine la lecture de son Mémoire *sur le Reptile fossile de Caen*, et en annonce un autre *sur la Tête osseuse d'un crocodile trouvée à l'état de momie dans les catacombes de Thèbes, et sur les rapports de ce crâne avec ceux des animaux présumés de la même espèce qui vivent maintenant en Egypte.*

M. de Humboldt lit un Mémoire *sur quelques Phénomènes physiques qu'offrent les Cordillières des Andes de Quito, et la partie orientale de l'Himalaya.*

M. Edwards lit un Mémoire *sur les Contractions musculaires produites par le contact d'un corps solide avec les nerfs, sans arc galvanique.*

---

## EXTRAIT *d'un Rapport de MM.* Beudant *et* Brongniart, *sur un Mémoire de M.* de Basterot.

....... On savait, par suite des observations faites dans des lieux assez éloignés les uns des autres, que les mêmes espèces de coquilles fossiles qu'on y rencontrait

présentaient toujours quelques différences dans leur forme, dans la profondeur de leurs stries, la saillie de leurs tubercules, etc.; mais M. de Basterot croit pouvoir affirmer, par suite de ses recherches, que les mêmes modifications se rencontrent dans les espèces vivantes, que ces espèces ne sont jamais parfaitement identiques dans des lieux séparés par des distances considérables, ou même dans des localités voisines où les circonstances de chaleur, d'humidité, de nourriture, etc. sont différentes. Il fait observer avec raison qu'on a généralement fait peu d'attention à ces différences locales, d'où il est résulté qu'on a souvent établi des espèces là où on ne devait voir que des variétés plus ou moins remarquables de la même coquille, produites accidentellement.

Nous devons dire, comme M. de Basterot, qu'un des hommes qui ont vu le plus de coquilles fossiles et vivantes, qui possèdent les plus belles collections dans ce genre, M. de France, a souvent et depuis longtemps professé la même opinion. Nous rapportons cette circonstance parce qu'elle donne beaucoup de poids à l'opinion de M. de Basterot, et qu'elle peut et doit avoir une grande influence sur les conséquences géologiques qu'on peut tirer de la considération des corps organisés fossiles.

M. de Basterot fait remarquer aussi que, dans des dépôts de même époque, séparés les uns des autres, soit par des distances considérables, soit seulement par des chaînes de montagnes, si on trouve des espèces identiques ou ne présentant que des différences accidentelles, on observe qu'elles ne sont pas partout associées de même, c'est-à-dire qu'en partant d'une localité dont

les espèces associées sont bien reconnues, et se portant sur une autre, on observe dans celle-ci un certain nombre des espèces de la première, qui sont alors associées avec des espèces différentes. Ce fait est aussi généralement connu des naturalistes, quoique non publié; mais M. de Basterot lui donne plus de précision. En prenant pour centre le bassin de la Gironde, il fait voir que les coquilles de même espèce sont d'autant plus nombreuses dans les autres bassins de même époque, que ces bassins sont moins éloignés : en effet, sur 270 espèces qu'il a reconnues dans les environs de Bordeaux, il ne s'en retrouve que 82 dans les dépôts d'Italie, 52 dans ceux des environs de Paris, 21 dans les bassins tertiaires de l'Angleterre, et 17 seulement dans le bassin de Vienne en Autriche.

Enfin, comme nous l'avons annoncé, M. de Basterot a réellement enrichi par ses recherches le catalogue de nos faits. Il a été conduit à reconnaître, ce que nous croyons parfaitement exact, que les espèces de débris fossiles qu'on trouve dans les dépôts anciens offrent plus de constance dans leurs caractères et dans leurs associations d'une localité à une autre, même très-éloignées, que celles qu'on trouve dans les dépôts plus modernes. Il fait voir d'abord, ce que l'un de nous a déjà publié, que la même espèce de trilobites, sans variation, se retrouve dans les calcaires intermédiaires de la France, de l'Angleterre, de l'Amérique septentrionale, etc. Mais, en outre, il fait observer que d'autres débris fossiles de diverses sortes se retrouvent avec des caractères absolument identiques dans les schistes intermédiaires du pays de Galles, du Northumberland, du Finistère, du Co-

tentin, des Ardennes, du Hundsruck, du Harz, du comté de la Mark, de Colombie, de New-Yorck, de Pensylvanie, du lac Oneïda dans l'Amérique septentrionale. Cette dernière comparaison avait pu être faite entre les débris fossiles de quelques localités peu éloignées, mais elle ne l'avait pas été sur une échelle aussi étendue, et par conséquent aussi capable de donner à l'observation le caractère d'un fait positif.

Après les détails généraux dont nous venons d'esquisser les plus remarquables, M. de Basterot donne la description des coquilles fossiles qui se trouvent dans les environs de Bordeaux : le nombre des genres qu'il décrit est de 97, dont 62 de coquilles univalves et 35 de bivalves ; il y rapporte 270 espèces, dont 85 n'avaient pas été décrites ; 58 de ces espèces ont leurs analogues vivantes, savoir, 37 dans la Méditerranée, l'Océan, la Manche, et 21 dans les autres mers. De ces dernières observations il résulte, évidemment, que les dépôts qui constituent les landes sont très-différens des sables qui s'amoncellent journellement en buttes mouvantes, ou dunes, sur l'un des bords du bassin, puisque de 270 espèces que présente le sable des landes, 37 seulement ont leurs analogues dans les mers voisines, en y comprenant même la Méditerranée.

Les considérations préliminaires auxquelles l'auteur s'est livré nous offrent déjà un garant du soin qu'il a mis dans l'étude des fossiles qu'il a examinés. Des notes, placées à la suite de la description de quelques espèces, nous font voir encore qu'il les a comparées soigneusement à celles qui pouvaient avoir avec elles de l'analogie ; enfin, une note détaillée qu'il nous

a remise sur les espèces nouvelles, nous a fait voir positivement qu'elles sont réellement distinctes de toutes les autres. Ces espèces sont figurées avec beaucoup d'exactitude dans des planches d'une belle exécution qui sont jointes au Mémoire.

Après un examen attentif, nous pensons que l'auteur du Mémoire dont nous venons de rendre compte a fait preuve de connaissances étendues, d'un jugement sain dans les diverses questions qu'il a traitées, et que la description des fossiles de Bordeaux, par l'exactitude qu'elle présente, par les discussions qu'on y trouve sur quelques genres et sur diverses espèces, ne peut manquer d'être très-utile aux naturalistes. Nous proposons en conséquence à l'Académie d'encourager le zèle de M. de Basterot par son approbation, et par l'impression du Mémoire qui lui a été présenté, dans le *Recueil de ceux des Savans étrangers.*

---

## ANALYSE *de l'Alumine hydratée résiniforme trouvée aux environs d'Epernay, département de la Marne.*

PAR Mr J.-L. LASSAIGNE.

L'ALUMINE hydratée résiniforme fut trouvée par MM. La Jonkaire et de Basterot, en septembre 1821, dans la montage de Bernon, qui est située à une demi-lieue d'Epernay (département de la Marne). Elle se rencontre sous forme d'une légère pellicule dans les fentes d'un

lit d'argile sablonneuse. Cette couche, ainsi que toutes celles qui couronnent la montagne de Bernon, appartient à la *formation de l'argile plastique*. C'est dans ce lieu qu'on a observé pour la première fois en France l'alumine sous-sulfatée ou wabsterite, dont nous avons publié l'analyse. (*Annales de Chimie et de Physique*, tome XXIV, page 97, an 1823.) On y rencontre également des lits de lignite et de sélénite.

La formation que nous venons d'indiquer présente, aux environs d'Epernay et dans tout le nord-est du bassin de Paris, des caractères géologiques et minéralogiques très-remarquables. Le desir de les faire connaître en détail a jusqu'ici retardé la publication du travail de M. de Basterot, dont une partie déjà a été communiquée à la Société d'Histoire naturelle de Paris.

1°. L'alumine hydratée de Bernon est sous forme de petits morceaux jaunes-rougeâtres, demi-transparens, friables sous les doigts.

2°. Chauffée dans une cuiller de platine, elle noircit sans se boursouffler et ne donne pas d'odeur bien sensible; mais elle diminue considérablement de volume et laisse un résidu blanc.

3°. L'alcool bouillant d'une densité de 0,792 n'a aucune action sur ce minéral; ce qui annonce que la matière qui le colore n'a point les propriétés des résines avec lesquelles on l'avait d'abord comparée.

4°. Les acides hydrochlorique et nitrique la dissolvent entièrement à froid sans effervescence; les dissolutions sont d'un jaune d'ambre : en les saturant par la potasse caustique, il se forme un précipité blanc vésiculeux qui se redissout pour la plus grande partie dans

un excès de cet alcali. Le nitrate de baryte mêlé avec la dissolution nitrique de cette matière n'y occasione aucun changement; mais le nitrate de baryte y indique la présence de traces d'acide sulfurique.

5°. Cette substance minérale, broyée dans un petit mortier d'agate avec de l'acide sulfurique concentré, ne dégage aucune odeur particulière; elle produit un composé sirupeux jaunâtre qui laisse déposer, par l'addition d'une petite quantité d'eau, des flocons blanchâtres, solubles dans une plus grande quantité de ce liquide.

6°. Desirant savoir si cette matière, qui avait d'ailleurs quelqu'analogie par ses propriétés physiques avec la mellite *konigstein*, ne contenait pas un acide qui pouvait se rapprocher de celui découvert par Klaproth dans cette pierre, nous en avons traité une partie par une solution de sous-carbonate de soude bouillante. Une certaine quantité de ce minéral s'est dissoute en colorant la dissolution en jaune d'ambre; l'alcali saturé par l'acide nitrique pur a laissé précipiter une matière floconneuse d'un jaune chamois peu foncé. La liqueur surnageante filtrée n'était presque plus colorée; on y a versé une solution d'acétate neutre de plomb qui n'y a produit aucun précipité, ce qui n'aurait pas eu lieu si cette liqueur eût contenu de l'acide mellitique, ou tout autre acide capable de former avec l'oxide de plomb un sel insoluble.

Comme le précipité obtenu en saturant la solution de sous-carbonate de soude noircissait au feu et laissait, après une calcination prolongée, une substance blanche jouissant de tous les caractères de l'alumine, nous avons

pensé qu'une portion d'alumine ayant été évidemment dissoute à chaud par le sous-carbonate de soude lors de la saturation de cet alcali, l'acide particulier se serait peut-être uni de nouveau à l'alumine et aurait reformé la combinaison naturelle. Pour vérifier cette supposition, nous avons fait digérer, à une douce chaleur, ce précipité réduit en poudre fine, dans une solution d'ammoniaque pure, étendue de son volume d'eau distillée : après une demi-heure environ de digestion, le liquide ammoniacal était coloré en jaune fauve, et la partie insoluble présentait un aspect plus floconneux, quoique toujours un peu colorée ; elle a été recueillie sur un filtre. La liqueur, évaporée avec précaution, a laissé une matière jaune-brunâtre, incristallisable, insipide, soluble dans l'eau, colorant cette dernière en jaune fauve, et ne jouissant d'aucune propriété du mellitate d'ammoniaque, décrit par Klaproth. Elle nous a paru, du reste, se comporter comme une matière colorante neutre végétale, qui, combinée avec l'alumine dans ce minéral, constituerait une *véritable laque naturelle*. Le premier exemple d'une semblable combinaison naturelle nous a suggéré l'idée de déterminer le rapport des principes qui la composaient : nous avons, après plusieurs essais, employé la méthode suivante :

1°. Un gramme de cette matière pulvérisée a été soumis à l'action d'une douce chaleur dans un tube de verre recourbé, jusqu'à ce qu'il ne se dégageât plus d'humidité. L'eau qui s'était condensée dans la partie courbe du tube était incolore, inodore, sans action sur le tournesol : cependant elle troublait légèrement les eaux de chaux et de baryte ; mais en ajoutant de l'acide nitri-

que on rétablissait la transparence de la liqueur, ce qui annonçait la présence d'une petite quantité d'acide carbonique. Il est probable que cet acide a été formé aux dépens de la matière végétale, qui aura éprouvé un léger commencement de décomposition par l'action de la chaleur, quoiqu'on l'ait employée avec beaucoup de précaution ; car, dans une autre expérience où l'on n'a retiré que les premières portions d'eau, elles ne contenaient point du tout d'acide carbonique.

La matière blanche-jaunâtre, restée au fond du tube, ne pesait plus, après cette opération, que $0^{g},625$ : il y a donc eu une perte de 0,375 par l'eau évaporée. Ce résidu a été calciné au rouge, pendant trois quarts d'heure environ, dans un creuset de platine ouvert ; il a perdu, par cette nouvelle calcination, 0,085. Cette perte provient indubitablement de la matière colorante végétale qui a été brûlée.

Les 0,540 parties restant ont été traitées, dans un creuset d'argent, par deux fois et demie leur poids de potasse à l'alcool. La matière, délayée dans l'eau tiède, s'est en partie dissoute ; la solution alcaline, filtrée, a été sursaturée par l'acide hydrochlorique et évaporée à siccité. Le résidu salin, repris par l'eau acidulée, a laissé une petite quantité de silice dont le poids s'élevait à $0^{g},025$. On a versé dans la dissolution de l'ammoniaque en excès, qui y a formé un précipité blanc floconneux qui, recueilli, séché et calciné, pesait 0,165. Ce précipité formant, par une forte calcination avec le nitrate de cobalt, un composé bleu, étant soluble dans l'acide sulfurique, et cette combinaison ayant fourni des cristaux octaédriques d'alun par son mélange avec une cer-

taine quantité de sulfate de potasse, on en a conclu que c'était de l'alumine.

La portion de la matière insoluble dans la potasse, mise en contact avec l'acide hydrochlorique faible, s'y est entièrement dissoute avec une légère effervescence. La dissolution était un peu jaunâtre; l'ammoniaque pure y a formé un précipité gélatineux blanchâtre, composé d'alumine et de traces d'oxide de fer : après la calcination, il pesait 0g,130. Cette quantité d'alumine a été réunie à celle obtenue plus haut. L'oxalate d'ammoniaque versé ensuite dans la liqueur surnageante y a produit un précipité d'oxalate de chaux, représentant 1g,200 de chaux; enfin, la liqueur d'où l'on avait séparé cette chaux, évaporée à siccité, a fourni un résidu qui s'est entièrement volatilisé au feu.

Il résulte de ces expériences que ce minéral est composé de :

| | |
|---|---|
| Eau.................... | 0,375; |
| Matière colorante végétale. | 0,085; |
| Alumine............... | 0,295; |
| Chaux.................. | 0,200; |
| Silice.................. | 0,025; |
| Perte.................. | 0,020. |
| | 1,000. |

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. *Mars* 1825.

| JOURS. | 9 HEURES DU MATIN. | | | MIDI. | | | 3 HEURES DU SOIR. | | | 9 HEURES DU SOIR. | | | THERMOMÈTRE. | | ÉTAT DU CIEL à midi. | VENTS à midi. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | Barom. à 0°. | Therm extér. | Hygr. | Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | maxim. | minim. | | |
| 1 | 754,10 | + 4,4 | 99 | 753,44 | + 9,4 | 98 | 750,57 | + 7,8 | 99 | 743,37 | + 8,8 | 99 | + 9,4 | + 1,5 | Couvert, brouillard. | S. O. |
| 2 | 743,34 | + 8,5 | 99 | 742,78 | +10,5 | 98 | 742,34 | +11,1 | 86 | 739,80 | + 7,2 | 97 | +11,1 | + 7,3 | Quelques éclaircies. | S. O. |
| 3 | 747,94 | + 6,8 | 87 | 748,38 | + 9,7 | 70 | 747,60 | + 8,7 | 71 | 747,27 | + 2,7 | 99 | + 9,7 | + 2,7 | Nuageux. | S. O. |
| 4 | 751,18 | + 5,3 | 91 | 751,17 | + 8,3 | 78 | 751,07 | + 4,5 | 91 | 753,55 | + 3,8 | 99 | + 8,3 | + 3,3 | Très-nuageux. | S. O. |
| 5 | 762,50 | + 4,2 | 89 | 763,70 | + 6,2 | 70 | 764,18 | + 6,7 | 64 | 765,62 | + 1,5 | 95 | + 6,7 | + 1,1 | Très-nuageux. | N. N. O. |
| 6 | 764,88 | + 2,9 | 91 | 763,75 | + 7,0 | 54 | 761,80 | + 6,2 | 53 | 758,83 | + 2,6 | 85 | + 7,0 | — 1,9 | Très-nuag., brouill. | S. O. |
| 7 | 753,94 | + 4,7 | 88 | 753,44 | + 8,7 | 78 | 753,76 | + 8,0 | 78 | 756,68 | + 4,4 | 93 | + 8,7 | + 2,6 | Couvert, brouillard. | S. E. |
| 8 | 763,83 | + 6,6 | 99 | 764,60 | +10,4 | 81 | 764,70 | +10,5 | 78 | 766,40 | + 7,8 | 86 | +10,8 | + 1,6 | Nuageux. | N. O. |
| 9 | 767,62 | + 4,0 | 99 | 767,13 | + 7,7 | 93 | 765,97 | +11,5 | 72 | 765,96 | + 7,5 | 98 | +11,5 | + 2 6 | Nuageux, brouill. | E. |
| 10 | 766,40 | + 8,0 | 82 | 766,10 | +10,4 | 63 | 765,10 | + 9,4 | 61 | 765,70 | + 4,0 | 67 | +10,4 | + 4,0 | Couvert. | S. E. |
| 11 | 765,80 | + 4,5 | 77 | 765,00 | + 9,7 | 58 | 763,50 | +10,2 | 55 | 762,30 | + 6 5 | 82 | +10,2 | — 2,2 | Nuageux, brouillard. | S. E. |
| 12 | 761,00 | + 8,5 | 96 | 761,27 | +10,3 | 78 | 761,35 | + 9,6 | 73 | 762,12 | + 7,0 | 79 | +10,3 | + 7,0 | Couvert. | N. O. |
| 13 | 761,38 | + 6,0 | 77 | 760,53 | + 7,6 | 67 | 759,37 | + 7,0 | 68 | 757,97 | + 2,7 | 96 | + 7,6 | + 2,7 | Couvert, brouillard. | N. |
| 14 | 758,50 | + 0,3 | 69 | 758,63 | + 1,0 | 67 | 758,12 | + 1 1 | 60 | 758,28 | — 0,1 | 66 | + 1,1 | — 1,3 | Couv., léger brouil. | N. |
| 15 | 760,30 | — 0 6 | 70 | 760,70 | + 0,5 | 66 | 760,81 | + 1,7 | 57 | 762,30 | — 0,5 | 67 | + 1,8 | — 3,7 | Nuageux. | E. N. E. |
| 16 | 762,02 | + 0 6 | 95 | 761,44 | + 3,4 | 88 | 761,16 | + 1,1 | 98 | 763,42 | — 0,3 | 99 | + 3,4 | — 2,1 | Couv, brouil., gresil. | N. N. O. |
| 17 | 768,84 | — 2,6 | 84 | 769,28 | — 0,5 | 58 | 769,15 | + 1,0 | 52 | 770,25 | — 1,0 | 64 | + 1,0 | — 5,0 | Petits nuages blancs. | N. E. |
| 18 | 772,05 | + 0,3 | 69 | 771,25 | + 2,5 | 62 | 770,70 | + 4,8 | 49 | 770,86 | + 1,0 | 84 | + 4,8 | — 4,0 | Beau, vapeurs. | N. E. |
| 19 | 770,27 | + 1,2 | 90 | 769,75 | + 4,4 | 75 | 769,30 | + 5,2 | 75 | 769,61 | + 2,0 | 94 | + 5,2 | — 2,5 | Nuageux. | N. |
| 20 | 771,48 | + 3,8 | 81 | 771,15 | + 7,8 | 56 | 770,30 | + 9,5 | 51 | 770,26 | + 4,9 | 81 | + 9,5 | — 1,8 | Légers nuages, vap. | N. |
| 21 | 770,56 | + 5,0 | 75 | 768,70 | + 9,2 | 53 | 767,10 | +10,4 | 63 | 765,58 | + 4,6 | 85 | +10,7 | + 0,2 | Légers nuages. | N. |
| 22 | 763,36 | + 4,1 | 80 | 761,92 | + 8,5 | 51 | 760,18 | + 6,4 | 50 | 758,88 | + 5,0 | 56 | + 9,4 | — 0,1 | Légers nuages. | N. E. |
| 23 | 758,52 | + 5,2 | 72 | 758 28 | + 9,5 | 63 | 757,30 | +11,2 | 63 | 757,24 | + 7,2 | 81 | +11,2 | + 0,7 | Nuageux. | E. N. E. |
| 24 | 756,82 | + 6,2 | 85 | 755,94 | + 9,1 | 64 | 754,68 | + 9,6 | 55 | 754,30 | + 4,5 | 76 | + 9,6 | + 2,2 | Nuageux et vaporeux. | N. E. |
| 25 | 753,67 | + 6,2 | 78 | 752,20 | +11,5 | 58 | 751,24 | +13,2 | 65 | 751,17 | + 9,9 | 66 | +13,2 | — 1,2 | Voilé. | E. S. E. |
| 26 | 754,92 | +13,0 | 82 | 755,27 | +16,6 | 60 | 754,68 | +18,0 | 60 | 755,15 | +12,5 | 80 | +18,4 | + 5,2 | Nuageux. | S. E. |
| 27 | 755,43 | + 9 9 | 80 | 754,55 | +13,7 | 65 | 753,50 | +14,7 | 50 | 754,90 | + 7,5 | 70 | +15,0 | + 5,2 | Légers nuages. | N. |
| 28 | 751,60 | + 9,2 | 70 | 750,00 | +13,6 | 48 | 755,09 | +15,5 | 54 | 754,80 | + 9,5 | 95 | +15,5 | + 2,8 | Beau. | N. |
| 29 | 755,12 | + 8,7 | 95 | 754,30 | +13,5 | 76 | 753,60 | +16,4 | 55 | 753,88 | + 9,5 | 80 | +16,4 | + 6,2 | Beau. | N. E. |
| 30 | 756,66 | +11,9 | 88 | 750,90 | +16,8 | 68 | 751,56 | +16,5 | 52 | 758,30 | + 8,1 | 98 | +17,8 | + 5,8 | Nuageux. | N. O. |
| 31 | 760,60 | + 7,2 | 98 | 760,52 | +11,0 | 75 | 759,23 | +13,7 | 50 | 761,74 | + 7,0 | 68 | +13,7 | + 5,5 | Nuageux. | N. E. |
| 1 | 757,57 | + 5,5 | 92 | 757,45 | + 8,8 | 78 | 756,71 | + 8,4 | 76 | 756,32 | + 5,0 | 92 | + 9,4 | + 2,6 | Moyennes du 1 au 10. | Pluie en centim. |
| 2 | 765,16 | + 2,2 | 81 | 764,90 | + 4,7 | 67 | 764,36 | + 5,1 | 64 | 764,73 | + 2,2 | 81 | + 5,5 | — 1,3 | Moyenn. du 11 au 20. | Cour, 2,290 |
| 3 | 758,39 | + 7,9 | 82 | 757,69 | +12,1 | 62 | 756,65 | +13,5 | 54 | 755,90 | + 7,8 | 77 | +13,7 | + 2,9 | Moyenn. du 21 au 31. | Terrasse, 2,035 |
| | 760,31 | + 5,3 | 85 | 759,94 | + 8,6 | 69 | 759,15 | + 9,2 | 65 | 759,24 | + 5,1 | 84 | + 9,7 | + 1,5 | Moyennes du mois, | + 5°,6. |

# REMARQUES *sur la Théorie mathématique de la chaleur rayonnante.*

PAR M. FOURIER.

(1) ON a publié dans ce Recueil divers articles concernant l'équilibre de la chaleur rayonnante. Cette discussion a pour objet de fixer avec précision les élémens d'un nouveau genre de questions, et de porter les physiciens et les géomètres à en approfondir l'étude.

Le principe qui a donné naissance à cette théorie est celui de l'équilibre de la chaleur rayonnante dans un espace que terminé de toutes parts une enceinte entretenue à une température constante. J'en ai déduit autrefois la démonstration mathématique d'une proposition que les expériences avaient indiquée depuis long-temps, savoir, que durant cet équilibre de la chaleur rayonnante, une particule quelconque de la surface de l'enceinte est le centre d'une infinité de rayons qui contiennent d'autant moins de chaleur, que leur direction fait un angle plus petit avec la surface. Cette quantité totale de chaleur, qu'une même particule de la superficie émet ou réfléchit, selon les différentes directions, est exactement proportionnelle au sinus de l'angle que le rayon fait avec la surface dont il s'éloigne. Les observations avaient fait connaître ce résultat; la théorie prouve qu'il est une conséquence nécessaire de l'uniformité de température dans les diverses parties de la surface de l'enceinte. C'est selon cette loi que la chaleur rayonnante est distribuée dans l'espace circonscrit. Il en résulte que la quantité totale de chaleur qui traverse un point de cet espace,

selon toutes les directions possibles, pendant un instant déterminé, est toujours la même quelle que soit la position du point que l'on considère.

Après avoir démontré ce théorême, j'ai désiré connaître quelle était la cause physique qui rend proportionnelle au sinus de l'inclinaison la quantité de chaleur projetée en différentes directions par un même élément de la surface, et j'ai reconnu que cet effet est dû à l'irradiation uniforme des molécules solides placées au-dessous de la surface, à une très-petite profondeur, et à l'extinction qui s'opère dans cette couche extrême voisine de la superficie. En effet, j'ai prouvé que la loi de la distribution de la chaleur rayonnante peut se déduire de cette seule considération physique. Pour établir clairement ce calcul, j'ai fait d'abord abstraction de la propriété des surfaces que l'on a désignée sous le nom de *réflexibilité*. Elle consiste dans la faculté de repousser une partie de la chaleur incidente, et de contenir une partie de la chaleur intérieure. Par conséquent, si la surface de l'enceinte était, dans chacune de ses parties, entièrement privée du pouvoir de retenir la chaleur, la loi du rayonnement, telle que nous venons de l'énoncer, s'établirait d'elle-même, et la chaleur rayonnante se trouverait également distribuée dans tous les points de l'espace circonscrit.

Il était nécessaire de rétablir la propriété dont on avait fait abstraction : j'ai donc supposé que les divers élémens de la surface intérieure de l'enceinte, conservant leur température commune, recevaient à des degrés égaux ou inégaux la propriété de réfléchir la chaleur incidente. Or, il est certain qu'un changement quelconque de l'état des surfaces n'altère en rien l'équilibre de

la chaleur ; pourvu que ces surfaces dont l'état est changé retiennent leur température. Il arrive toujours qu'une molécule qui a la température commune, et que l'on place en un point quelconque de l'espace circonscrit, conserve cette température. C'est ce fait très-général indépendant de l'état des superficies dont j'ai donné l'explication mathématique ; en démontrant la proposition suivante :

*Si le pouvoir d'émettre la chaleur intérieure dans une certaine direction est toujours le même que celui d'absorber la chaleur incidente, selon la direction contraire, un changement quelconque ; ou tous les changemens successifs qui surviendraient dans l'état des surfaces de l'enceinte, ne pourront troubler l'équilibre ; parce que la somme des quantités de chaleur émises ou réfléchies selon une direction donnée par chaque élément de la superficie, sera, après les changemens survenus, précisément égale à celle qui était envoyée lorsque le pouvoir de l'émission était complet.* On trouve la démonstration de ce théorême dans l'article 12 d'un Mémoire précédent qui a pour titre *Résumé théorique*. (*Annales de Chimie et de Physique*, novembre 1824, pag. 255.) Cette démonstration avait été donnée, pour la première fois, dans l'article 99 d'un Mémoire de 1811 (tom. v, *Nouv. Mém. de l'Acad. roy. des Sciences de Paris*).

On voit que ce point de théorie consistait uniquement à remarquer le rapport mathématique qui subsiste entre la conservation de l'équilibre et l'égalité rigoureuse des deux facultés d'émission et d'absorption lorsqu'elles s'exercent suivant la même ligne.

Cette même conclusion est devenue l'objet de nouvelles recherches publiées par M. Poisson (*Annales de Chimie et de Physique*, juillet 1824, pag. 225; août 1824, pag. 442; et janvier 1825, pag. 37). L'auteur reconnaît la vérité du théorème que je viens d'énoncer; mais il pense que la démonstration donnée en 1811, et que l'on a rappelée dans l'article 12 du *Résumé théorique* déjà cité, n'est pas suffisante. Il s'est donc proposé de traiter de nouveau cette question, et il est arrivé à la même conséquence par le calcul de l'effet total des réflexions successives. Il me sera facile de montrer 1°. que le résultat de ce calcul est implicitement contenu, et prouvé de la manière la plus générale et la plus claire dans la première démonstration donnée en 1811; 2°. que les constructions qui servent de fondement aux calculs de l'auteur ne sont point exactes, parce qu'elles représentent seulement le mouvement de la chaleur réfléchie entre des surfaces planes.

Je rappellerai d'abord, non à titre de preuves, mais seulement comme motifs d'examen, que la démonstration dont il s'agit a été admise sans contestation par tous les géomètres qui en ont eu connaissance, et spécialement par MM. Lagrange, Malus et Biot, qui ont manifesté leur opinion à ce sujet, soit dans leurs lettres, soit dans leurs ouvrages. M. Poisson en avait porté aussi le même jugement, comme on le voit par son dernier Mémoire (*Ann. de Chim. et de Phys.*, janv. 1825, p. 41), et comme le montrent les expressions suivantes, que je cite textuellement. Après avoir rappelé la proposition relative à la distribution homogène de la chaleur rayonnante dans un espace formé, lorsque la réflexibilité est nulle, il ajoute : *l'auteur fait*

*voir de plus d'une manière très-ingénieuse que cette égalité n'est pas troublée par la réflexion plus ou moins parfaite qui peut avoir lieu sur ces mêmes parois.* (*Bullet. Scienc., Sociét. philom.*, année 1815, pag. 91.)

De nouvelles considérations ont amené M. Poisson à changer d'avis sur ce point. Il soutient présentement que la démonstration est fautive, en ce qu'elle n'est point applicable à tous les cas, et il en cite un exemple. (*Annales de Chimie et de Physique*, janvier 1824, pag. 41, 43 et 45.) Je me propose de prouver que l'objection dont il s'agit est dénuée de tout fondement; que le cas choisi pour exemple est précisément un de ceux auxquels la démonstration s'applique le plus directement; en sorte que des deux opinions contraires que M. Poisson a publiées à ce sujet, c'est la première qui est la véritable. L'article suivant a pour objet d'éclaircir ce premier point de la discussion; j'ajouterai ensuite de nouvelles remarques à celles qui sont exposées dans le résumé théorique, et qui concernent le calcul des réflexions successives.

(2) Dans le Mémoire intitulé : *Discussion relative à la théorie de la chaleur rayonnante* (*Ann. de Chim. et de Physiq.*, janvier 1825), l'auteur, après avoir présenté, pag. 42 et 43, la partie de ma démonstration qu'il juge en être la substance, établit son objection, et l'applique au cas où deux surfaces *A* et *B* s'envoient réciproquement leur chaleur dans la direction orthogonale, soit par émission, soit par réflexion. Il considère, 1°. que si la réflexibilité des deux surfaces est nulle, et si leur température est la même, l'une recevra de l'autre, dans la direction normale, une quantité de chaleur égale à celle qu'elle lui envoie; 2°. que l'égalité de température

sera maintenue si l'on change seulement l'état de la surface *A*, en sorte que la chaleur émise par *A*, et désignée par *p*, soit réduite à *mp*, la fraction *m* étant la mesure du pouvoir émissif. Il est facile de voir en effet que l'égalité de température subsiste toujours; car, avant le changement, la chaleur émise par *A* selon la normale était *p*, et la chaleur réfléchie était nulle : donc *B* recevait la quantité *p* : or, après le changement, la chaleur émise par *A* est seulement *mp*; mais la chaleur réfléchie est $(1-m)p$, en sorte que la quantité totale communiquée à *B* est encore égale à *p*.

Cette conséquence est évidente, et l'auteur l'admet; mais il pense que le même raisonnement ne peut plus être appliqué lorsque, par l'effet d'un second changement qui surviendrait dans la surface *B*, la chaleur sortie de cette surface ne serait plus égale à *p*, mais seulement à *np*, *n* étant la mesure actuelle du pouvoir émissif de *B*. Ici l'auteur change totalement le sens de notre démonstration : le calcul n'est point établi comme il doit l'être, et c'est sur cette erreur que l'objection est fondée.

En effet, avant le changement que la surface *B* vient de subir, il sortait de l'intérieur de cette surface une quantité de chaleur égale à *p*, et *B* recevait dans la direction contraire une quantité de chaleur égale à *p*, qui, étant absorbée entièrement, compensait la chaleur émise.

Après le changement, la chaleur sortie de l'intérieur de la surface *B* est réduite à *np*; et par un effet nécessaire de ce même changement, la chaleur affluente absorbée n'est plus égale à *p*; elle est réduite à *np*; le reste $(1-n)p$ est réfléchi. Ainsi, avant que le changement de *B* n'eût lieu, la chaleur émise par cette surface était *p*,

et la chaleur réfléchie était nulle ; après le changement, la chaleur émise est $np$, et la chaleur réfléchie est $(1-n)p$. Donc la chaleur que *A* reçoit de *B* dans la direction normale est $mp+(1-m)p$ ou $p$. C'est cette quantité totale, et non pas seulement $np$, qu'il faut multiplier, ou par $m$ pour connaître la quantité de chaleur absorbée par *A*, ou par $1-m$ pour connaître la quantité de chaleur que *A* réfléchit. Ainsi la chaleur qui pénètre *A* est $mp$ ; elle équivaut à celle qui est émise par cette même surface ; et la chaleur que *A* réfléchit est $(1-m)p$. Donc, après le changement de *B*, la quantité totale que *A* renvoie à *B* dans la direction normale est $mp+(1-m)p$. Ainsi elle est égale à $p$ comme elle l'était avant que la surface *B* ne fût changée.

Cette dernière proposition est d'ailleurs une conséquence nécessaire de l'état qui s'est formé après le seul changement de la surface *A*. En effet, après ce premier changement, l'égalité de température est maintenue, ce qui est manifeste et ce que reconnaît expressément l'auteur de l'objection. Ainsi les quantités de chaleur qui tombent sur chaque particule des surfaces de l'enceinte, et celles qui s'en éloignent, demeurent précisément les mêmes que si la surface *A* n'avait pas été changée : donc, après le changement de *A*, la surface *B* reçoit et envoie les mêmes quantités de chaleur que si le changement n'avait point eu lieu. Il arrive seulement qu'à la surface de *A*, la chaleur envoyée, dans la direction normale n'est plus entièrement formée de celle qui sort de l'intérieur ; elle comprend aussi la chaleur réfléchie. Mais il n'en résulte aucune différence dans la quantité totale de chaleur que reçoit *B*, suivant cette direction

normale. Par conséquent, on prouvera, à l'égard de la surface *B*, et de la même manière, ce qui a été prouvé d'abord pour la surface *A*, c'est-à-dire qu'aucun changement de *B* ne peut troubler l'équilibre.

Après avoir reconnu que le seul changement de *A* n'altère en rien la distribution de la chaleur rayonnante, il est impossible de ne point admettre que la même conséquence s'applique à un second changement, savoir à celui de la surface *B*; car la chaleur que cette surface *B* avait envoyée avant d'être changée est parvenue en *A*, et au moment précis où le changement de *B* survient, *A* reçoit la chaleur déjà envoyée. Supposer le contraire, ce serait concevoir que le nouvel état de la surface *B* produit son effet avant d'avoir été formé. Enfin, si l'on veut rendre ces conséquences encore plus sensibles, il suffit de considérer la distance des deux surfaces comme extrêmement grande, et telle que la lumière ou la chaleur emploie un temps très-considérable pour se porter de *A* en *B*.

L'exactitude rigoureuse de notre démonstration ne peut donc être contestée. Elle fait connaître sans aucun doute que tout changement qui surviendrait dans l'état d'une ou de plusieurs parties de l'enceinte ne peut troubler l'égale distribution de la chaleur rayonnante, et que la loi de rayonnement est toujours la même que si les surfaces étaient entièrement privées de réflexibilité.

Au reste, nous remarquerons que, dans la démonstration dont il s'agit, nous ne disons point, comme on nous l'attribue (page 42, janv. 1825, *Ann. de Chim. et de Phys.*), que la surface de *A* est seule changée, que l'état des autres élémens demeurant le même, l'égalité des

températures subsiste, et qu'ensuite on change un second élément, puis un troisième, etc. Nous avons supposé, au contraire, qu'une ou plusieurs *parties de ces surfaces subissent un changement quelconque au commencement d'un même instant* A. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, nov. 1824.) On ne peut pas exprimer d'une manière plus formelle que des changemens sont simultanés et non successifs; qu'en disant qu'ils surviennent au commencement d'un même instant déterminé *A*. Le nouveau changement qui succéderait au premier, et dont nous avons parlé, est celui qui pourrait affecter comme le premier tous les élémens de la surface. Mais nous n'insistons point ici pour conserver cette forme de notre démonstration, parce qu'elle doit s'appliquer également au cas où chacun des élémens serait successivement changé. Nous remarquons seulement qu'il ne nous était point nécessaire de faire cette dernière supposition, et que nous ne l'avons pas faite. . . . . . . . . .

Dans le cours de cette discussion, l'auteur ajoute : il en résulte que si l'égalité de température est conservée, ce ne pourra être qu'en ayant égard à la série infinie de réflexions qui auront lieu sur les deux bases. Si ces expressions signifient que l'équilibre est maintenu par les réflexions multiples opérées sur l'une et l'autre surface, la proposition est évidente, et il est facile de déterminer par le calcul l'effet de ces réflexions; on sait d'avance quel doit être le résultat. Mais il est important de remarquer que, sans recourir aux détails de ce calcul, on est assuré qu'un changement quelconque de l'état des superficies ne peut troubler l'équilibre de la chaleur rayonnante : or, nous avons établi cette proposition de

manière à exclure tous les doutes, en montrant qu'il est rigoureusement impossible de produire, ou successivement ou à la fois, aucun changement dans l'état des superficies qui trouble l'égalité des températures. La même démonstration fait connaître que cette impossibilité provient de ce que la même cause, qui diminuerait la chaleur d'émission sous une direction donnée, et la réduirait de 1 à la fraction *m*, réduirait nécessairement, dans le même rapport, le pouvoir d'absorber la chaleur qui arrive selon la direction contraire.

(3) Pour déduire du calcul les mêmes conséquences, il suffit de déterminer la quantité totale de chaleur qu'un élément de l'enceinte envoie dans une direction donnée, et l'on peut chercher séparément la valeur du produit de l'émission directe, et celle du produit d'une, de deux ou d'un nombre quelconque de réflexions. Ce calcul se réduit à l'application des principes que nous avons établis dans notre Mémoire de 1811, et dans divers articles de ce Recueil. Les remarques suivantes ont pour objet de rappeler quelques-uns de ces principes, et d'en montrer l'usage.

Les questions de l'équilibre ou du mouvement de la chaleur rayonnante, considérées sous le point de vue le plus étendu, se réduisent à former l'expression analytique de la quantité de chaleur qu'une surface infiniment petite envoie à une autre, soit directement, soit par une ou plusieurs réflexions : or, cette expression générale est très-simple.

Supposons (fig. 5, jointe au Mémoire inséré *Ann. de Chim. et de Phys.*, novembre 1824, pag. 236-281) qu'un rayon de chaleur *r* envoyé par un point *o* tombe

dans la direction $om_1$, sur une surface infiniment petite $\omega_1$, en faisant avec cette surface un angle $\varphi_1$, et désignons par $\alpha_1$ le pouvoir d'émission ou d'absorption de $\omega_1$ sous l'angle $\varphi_1$, la partie du rayon envoyé qui pénètre $\omega_1$ est $\alpha_1 r$; l'autre partie $(1-\alpha_1)r$ est réfléchie par $\omega_1$ et tombe sur $\omega_2$ sous l'angle $\varphi_2$ : une partie de la chaleur ainsi réfléchie pénètre $\omega_2$, elle est exprimée par $(1-\alpha_1)\alpha_2 r$, $\alpha_2$ désignant le pouvoir d'émission ou d'absorption de $\omega_2$ sous l'angle $\varphi_2$. La partie restante qui est réfléchie par $\omega_2$ a pour expression $(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)r$. Elle tombe sur un troisième élément $\omega_3$, en faisant avec cet élément l'angle $\varphi_3$; elle s'y divise aussi en deux parties, dont l'une $(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)\alpha_3 r$ pénètre $\omega_3$, et l'autre $(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-\alpha_3)r$ est réfléchie. Ces réflexions se multiplient indéfiniment selon la qualité des surfaces, et l'on en considère l'effet jusqu'à ce que le rayon envoyé $r$ ne contienne plus qu'une quantité de chaleur entièrement insensible.

Réciproquement, en désignant par $r$ la quantité de chaleur que l'élément $\omega_1$ enverrait au point $o$, si le pouvoir émissif de $\omega_1$ était complet, et $\alpha_1$ étant la mesure du pouvoir émissif actuel de $\omega_1$ sous l'angle $\varphi_1$, $\alpha_1 r$ exprime la quantité de chaleur qui sort de $\omega_1$ et arrive au point $o$. $\alpha_2(1-\alpha_1)r$ est la quantité de chaleur qui, étant sortie de $\omega_2$, tombe sur $\omega_1$ et est réfléchie par cet élément, sous de telles directions qu'elle parvient au point $o$.

Dans tous les cas, *pour former l'expression de la quantité de chaleur qui sort d'un élément* $\omega_j$ *sous de telles directions qu'elle peut arriver au point* $o$, *après avoir été divisée et réfléchie successivement par son incidence sur un nombre quelconque d'élémens intermé-*

*diaires* $\omega_4$ $\omega_3$ $\omega_2$ $\omega_1$, *il faut multiplier la valeur r du rayon total par* $\alpha_j$, *mesure du pouvoir émissif de* $\omega_j$ *sous l'angle* $\varphi_j$, *et par tous les coefficiens* $1-\alpha_1$ $1-\alpha_2$ $1-\alpha_3$ $1-\alpha_4$ *qui mesurent, sous les incidences respectives* $\varphi_1$ $\varphi_2$ $\varphi_3$ $\varphi_4$, *le pouvoir réflecteur des élémens intermédiaires.* Le rayon total $r$ représente la quantité de chaleur que le premier élément $\omega_1$ enverrait au point $o$ si cet élément avait un pouvoir émissif complet.

(4) Le lemme que l'on vient de rapporter est une conséquence évidente de l'égalité qui subsiste entre le pouvoir d'émettre la chaleur et celui de l'absorber sous une même direction. Si l'on joint à cette proposition celle qui exprime l'action directe d'une surface infiniment petite sur une autre, on réduira facilement toutes les recherches relatives à la chaleur rayonnante à de pures questions de calcul, ce qui est proprement l'objet de la théorie. Nous avons donné, dans nos premiers ouvrages, cette expression de la quantité de chaleur $R$ envoyée par une surface infiniment petite $\omega_1$ à une autre $\omega$. La chaleur $R$, qui sort de $\omega_1$ et tombe sur $\omega$, est proportionnelle à $\omega \sin\varphi \dfrac{H}{y^2} \sin\varphi_1\, \omega_1$. (Mémoire 1811, page 28, tome v, *Nouv. Mém. Acad. roy. des Scienc. Institut.*)

La distance $y$ des deux particules est supposée infiniment grande par rapport aux dimensions de ces particules, et cette droite $y$, qui joint un point quelconque de $\omega$ et un point quelconque de $\omega_1$, fait avec la première surface $\omega$ l'angle $\varphi$, et avec la seconde $\omega_1$ l'angle $\varphi_1$. Le coefficient $H$ dépend du pouvoir rayonnant de $\omega_1$ sous l'angle $\varphi_1$ et de la température $\beta$ de $\omega_1$. Les observations

peuvent seules faire connaître les lois des variations de ce coefficient pour des incidences très-obliques, ou des températures très-élevées.

Nous avons aussi proposé la construction suivante, qui sert à transformer l'expression de *R*. D'un point *m* de $\omega$ et d'un rayon 1, on décrit une surface sphérique, et l'on forme le cône qui, ayant son sommet en *m*, embrasse l'élément opposé $\omega_1$. Désignant par *s* la partie de la surface sphérique que le cône intercepte, on a évidemment $s = \frac{\omega_1 \sin \varphi_1}{y^2}$, et l'on peut mettre dans la formule précédente, au lieu de la quantité $\frac{\omega_1 \sin \varphi_1}{y^2}$, sa valeur *s*. Cette ouverture ou capacité *s* du cône qui circonscrit l'élément $\omega_1$ est la grandeur de cet élément vu d'un point de $\omega$. Nous avons surtout fait usage de cette construction pour représenter les effets de la réflexion apparente du froid. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 1817, pag. 269-270.)

On conclut du lemme précédent que, pour former l'expression de la quantité de chaleur qu'un élément infiniment petit $\omega$ reçoit d'un autre $\omega_j$ par un nombre quelconque de réflexions, il faut, comme on en voit des exemples dans le Mémoire cité (*Ann. de Chim. et de Phys.*, ann. 1817, pag. 270.), transporter à l'élément $\omega_1$, qui est le réflecteur le plus prochain, la température $\beta$ de l'élément $\omega_j$ dont on veut déterminer l'action, et chercher quelle serait dans cette hypothèse l'action de $\omega_1$, ou la quantité de chaleur que $\omega_1$ enverrait à $\omega$ si cette surface $\omega_1$ avait un pouvoir émissif total. Il ne reste plus qu'à multiplier cette valeur de *R* par les

fractions $1-\alpha_1$ $1-\alpha_2$ $1-\alpha_3$ $1-\alpha_4$ $\alpha_j$, qui répondent aux réflexions intermédiaires et au pouvoir émissif de $\omega_j$. Ainsi l'effet des réflexions, quel qu'en soit le nombre, est de transporter à l'élément le plus prochain la température $\theta$ de $\omega_j$, et de diminuer le pouvoir émissif $\alpha_j$ de $\omega_j$, dans la raison de 1, au produit des fractions $1-\alpha_1$ $1-\alpha_2$ etc. Cette règle suffit pour établir, dans les cas les plus composés, le calcul des effets de la chaleur rayonnante directe ou réfléchie.

(5) Il est nécessaire de ne point supposer que les fractions $\alpha_1$ $\alpha_2$ $\alpha_3$, etc. sont indépendantes des angles $\varphi_1$ $\varphi_2$ $\varphi_3$, etc. Des observations précises et variées pourront un jour faire connaître si le pouvoir d'émission change avec l'incidence et suivant quelle loi. Ce qui est très-remarquable, c'est que la théorie mathématique de l'équilibre de la chaleur est entièrement indépendante de ces recherches expérimentales.

Lorsque l'équilibre subsiste, c'est-à-dire, lorsqu'un corps *M* placé dans l'espace circonscrit a la même température $\theta$ que tous les points de l'enceinte, chaque élément $\omega$ de la surface de *M* envoie dans les différentes directions des quantités de chaleur proportionnelles aux sinus des angles formés par ces directions avec la surface $\omega$. Ce rayonnement se compose, comme nous l'avons dit, de la chaleur sortie de *M* à travers $\omega$ et de la chaleur réfléchie par $\omega$. La loi serait encore la même si toute la chaleur envoyée sortait du corps *M*.

Si le corps apporté dans l'espace n'a point la température $\theta$ de l'enceinte, la distribution de la chaleur rayonnante ou émise ou réfléchie à la surface de *M* peut suivre une loi très-différente. Ni les observations ni la

théorie n'autorisent à supposer que, dans ce cas, la loi d'émission à la superficie de *M* est la même que si la réflexibilité de cette surface était nulle. Mais on peut affirmer que lorsque le corps *M* aura acquis la température commune, quel que soit d'ailleurs l'état de sa surface, la loi du rayonnement total sera celle qui aurait lieu si la réflexibilité de cette surface était nulle. Pour déterminer par le calcul les quantités de chaleur qui sortent de *M* à travers $\omega$ pendant que le corps *M* se refroidit ou s'échauffe, on ne peut point supposer que la fraction qui mesure le pouvoir d'émission est la même pour tous les angles. Ainsi l'expression différentielle $mpat$ cos. $u$, rapportée dans le premier Mémoire de M. Poisson (*Ann. de Chim. et de Phys.*, juillet 1824, page 236), ne doit pas être intégrée comme si la valeur de $m$ était constante. Les conséquences que l'on déduit de cette intégration, page 237, ne sont certaines que si l'on suppose la réflexibilité nulle, ou toutes les températures égales. Les remarques que nous avons faites dans l'article XIII du Résumé théorique ont eu pour objet d'insister sur cette distinction, entre la loi du rayonnement pendant la durée de l'état variable du corps *M*, et celle qui s'établit lorsqu'il a reçu la température finale. C'est pour cela que, dans tous les écrits que nous avons publiés depuis 1808, concernant la chaleur rayonnante, nous n'avons jamais omis de rapporter la loi dont il s'agit au cas de l'équilibre, et non à l'état variable qui le précède. Nous pensons que ce point est pleinement éclairci aujourd'hui, et que notre opinion est maintenant admise par l'auteur du Mémoire cité.

(6) Les remarques précédentes, appliquées au cas de

l'équilibre, montrent distinctement pour quelle raison l'égalité des températures ne peut être troublée par le changement de l'état des surfaces. En effet, lorsque la réflexibilité de la surface de l'enceinte était nulle et que les points avaient une même température, chaque élément $\omega$ de cette surface recevait d'un autre élément quelconque $\omega_1$ une quantité de chaleur $R$ précisément égale à celle qu'il lui envoyait, en sorte que l'équilibre subsistait d'élément à élément. Si maintenant les surfaces $\omega_1$ $\omega_2$ $\omega_3$, etc. acquièrent à un certain degré la faculté de réfléchir les rayons incidens, la quantité de chaleur $R$ sortie de $\omega$ sera divisée par son incidence sur $\omega_1$. Une portion de $R$ sera absorbée par $\omega_1$, et l'autre portion, étant réfléchie, tombera sur $\omega_2$. Elle s'y divisera de nouveau en deux parties, dont une seulement pénètre $\omega_2$, et l'autre se dirige vers $\omega_3$ : ainsi la chaleur $R$, sortie de $\omega$, comprend des portions différentes, dont la première est absorbée par $\omega_1$, la seconde par $\omega_2$, la troisième par $\omega_3$, ainsi de suite. Or, la chaleur sortie d'un élément quelconque $\omega_j$, et qui par voie de réflexions parvient à $\omega$ où elle est absorbée, est exactement la même que celle qui, sortie de $\omega$ et arrivant après plusieurs réflexions à la surface de $\omega_j$, est absorbée par ce dernier élément. Donc l'équilibre de la chaleur subsiste encore d'élément à élément. Chaque particule $\omega$ de la surface de l'enceinte donne à une autre $\omega_j$, soit immédiatement, soit par un nombre quelconque de réflexions, une quantité de sa chaleur propre exactement égale à celle que $\omega_j$ lui communique suivant les directions contraires. C'est la condition universelle de l'équilibre de la chaleur rayonnante; elle ne dépend point de l'état de la superficie.

(7) J'ai indiqué, article XVI du Résumé théorique, un point de vue très-simple qui fait reconnaître immédiatement et sans calcul les effets partiels des réflexions successives. Voici la démonstration que cette remarque fournit : on se servira de la même construction, fig. 5, en désignant par $m_1\, m_2\, m_3\, m_4$ des surfaces infiniment petites.

Si la réflexibilité de toutes les parties de l'enceinte est supposée nulle, et que toutes les températures soient les mêmes, le point $o$ (fig. 5) reçoit de l'élément $m_1$, dans les directions telles que $m_1\, o$, une quantité de chaleur $\rho$ exactement égale à celle que ce point envoie dans les directions contraires telles que $o\, m_1$. Chaque ligne telle que $m_1\, m_2$ faisant avec la surface $\omega_1$ le même angle $\varphi_1$ que la ligne correspondante $m_1\, o$, l'élément $m_1$ envoie, dans les directions alternes telles que $m_1\, m_2$, une quantité de chaleur égale à $\rho$, et reçoit la même quantité $\rho$ dans les directions $m_2\, m_1$ : $m_2$ envoie aussi, dans les directions contraires alternes $m_2\, m_3$, une quantité de chaleur équivalente à $\rho$, et reçoit de $m_3$ la même quantité $\rho$ dans les directions contraires. Il en est de même de tous les autres élémens.

Si l'on change maintenant l'état de la seule surface $\omega_1$, en sorte que la quantité $\rho$ envoyée par $m_1$ au point $o$ soit réduite à $\alpha_1\, \rho$, la chaleur $\rho$ envoyée par $m_2$ à $m_1$ sera divisée à son incidence sur $m_1$, et en partie réfléchie vers le point $o$. La quantité réfléchie dans cette direction $m_1\, o$ sera $(1-\alpha_1)\rho$. Elle s'ajoutera à la chaleur émise $\alpha_1\, \rho$, en sorte que le point $o$ recevra de $m_1$, comme auparavant, une quantité totale de chaleur égale à $\rho$.

Si, de plus, l'état de la surface $\omega_2$ vient à être changé, on voit, par ce qui précède, que la quantité totale de

chaleur envoyée par $m_2$ à $m_1$ sera la même qu'auparavant, c'est-à-dire, égale à $\rho$, parce que la chaleur envoyée par $m_3$, et dont une partie est réfléchie par $m_2$, compense celle que $m_2$ cesse d'envoyer directement à $m_1$ : donc l'effet produit par $m_2$ étant le même que si la surface $\omega_2$ n'avait pas été changée, l'effet de $m_1$ sur le point $o$ sera encore, d'après ce qui précède, équivalent à $\rho$. En général, si un dernier élément $m_j$ conserve son pouvoir émissif total, et si les élémens qui le précèdent $m_4\, m_3\, m_2\, m_1$ sont changés d'une manière quelconque, l'action de $m_j$ sur l'élément précédent $m_4$ complettera toujours la chaleur que $m_4$ envoie à l'élément $m_3$ qui le précède, et il en sera de même de tous les élémens antérieurs jusqu'à $m_1$, en sorte que $m_1$ enverra en $o$ une quantité totale de chaleur égale à $\rho$, comme elle l'était lorsque les surfaces avaient un pouvoir émissif complet.

Dans cet état des surfaces intermédiaires, chacun des élémens $m_1\, m_2\, m_3\, m_4$ concourt à former une somme de rayons de chaleur qui, étant sortie de ces élémens, arrive en $o$, et qui est un peu moindre que $\rho$, puisque c'est l'effet de $m_j$ qui, ajouté à cette somme, la complette et donne la valeur totale $\rho$. Il est très-facile maintenant de se former une juste idée de la somme de ces rayons sortis des élémens intermédiaires $m_4\, m_3\, m_2\, m_1$ sous de telles directions qu'ils arrivent au point $o$. Cette somme diffère de $\rho$ d'une quantité précisément égale à la chaleur que l'élément $m_j$, jouissant d'un pouvoir émissif total, peut envoyer par des réflexions successives au point $o$. Plus le rang de ce dernier élément $m_j$ est éloigné, moins la chaleur sortie de cet élément et soumise à toutes les réflexions intermédiaires conserve

d'intensité en arrivant au point $o$. Il suit de là que si l'on considère un nombre immense de réflexions, la somme de toutes les quantités de chaleur envoyées par les élémens intermédiaires $m_4\, m_3\, m_2\, m_1$ ne diffère de $\rho$ que d'une quantité insensible. Pour que cette différence fût appréciable, il faudrait supposer qu'un rayon, après avoir subi un nombre immense de réflexions, conserve une valeur sensible, ce qui paraît entièrement contraire à la nature des corps. On peut même en conclure qu'il suffit d'un nombre assez borné de ces réflexions, pour que la somme des rayons envoyés par les élémens intermédiaires diffère peu de la valeur complète.

Toutefois, si l'on voulait considérer le cas purement mathématique où le pouvoir d'absorption serait nul, il est certain que la somme des produits des réflexions successives n'équivaudrait pas au rayon total $\rho$. Mais on a vu que, même dans cette hypothèse, le théorème général que nous avons énoncé (1) ne souffre aucune exception. (Art. XVII du Résumé théorique, page 267.)

(8) Si, dans un espace que termine une enceinte entretenue dans tous ses points à une température constante $\theta$, on apporte un corps $M$ dont la température est aussi égale à $\theta$, chaque élément $\omega$ de la superficie de ce corps reçoit de l'enceinte, dans une direction qui fait avec $\omega$ un angle quelconque $\varphi$, une quantité de chaleur entièrement indépendante du lieu où le corps est placé. Cette quantité ne dépend que de l'angle $\varphi$; elle est toujours proportionnelle à $\omega \sin \varphi$, et elle est la même que si le pouvoir émissif de la surface de l'enceinte était nul. Aucun changement de l'état superficiel de l'enceinte ou du corps $M$ ne trouble cette dispo-

sition, pourvu que les températures soient conservées. Mais il ne s'ensuit pas que la disposition dont il s'agit subsiste, si le corps apporté dans l'espace circonscrit a une température moindre ou plus grande que 6. En faisant usage des principes que l'on vient de rappeler, il est très-facile de distinguer les cas où la situation du corps *M* peut ou non influer sur la quantité de chaleur qu'il reçoit.

1°. Si l'on place un corps *M* d'une figure quelconque, et dont la température est zéro, dans l'espace que termine une surface concave en toutes ses parties, dont la réflexibilité est nulle, et dont tous les points ont la même température 6, l'action de cette enceinte sur le corps *M*, quels que puissent être la figure de ce corps et l'état de ses surfaces, sera indépendante du lieu où on le place et de la forme de l'enceinte. Il s'échauffera toujours ou se refroidira de la même manière.

2°. Cela aura lieu encore si la surface du corps est convexe dans toutes ses parties, quelle que puisse être la figure de l'enceinte.

Il n'en sera pas de même si l'on ne satisfait pas à l'une des deux conditions relatives à la forme *convexe* du corps, ou à la forme *concave* de l'enceinte. Dans ce cas, l'effet produit peut dépendre beaucoup de la situation du corps, quoique le pouvoir rayonnant de l'enceinte soit supposé total en chaque point.

3°. Si la réflexibilité des surfaces de l'enceinte n'est pas nulle, et, à plus forte raison, si elle n'est pas la même dans tous les points, la position de *M* peut influer beaucoup sur le progrès et le mode de l'échauf-

fement ou du refroidissement. Cela provient de ce que le corps *M*, dont la température n'est pas la même que celle de l'enceinte, intercepte une partie des rayons réfléchis. Cette relation entre le lieu du corps froid interposé et l'effet d'une enceinte qui réfléchit la chaleur n'a rien de paradoxal; elle est une conséquence assez évidente de la théorie : c'est la proposition contraire qui serait un paradoxe.

(9) Si l'on réunit aux propositions rapportées dans les articles 3, 4 et 7 du présent Mémoire la remarque qui est l'objet de l'art. XVII du Résumé théorique, on connaîtra clairement en quoi consiste l'effet des réflexions multiples. Nous ne rappellerons point ici les conséquences que nous avons démontrées; nous ajouterons seulement, au sujet de la dernière remarque, que la démonstration rapportée dans l'art. XVI du Résumé est nécessaire pour expliquer la conservation de l'équilibre, lorsqu'il survient un changement dans l'état des surfaces. Il ne suffirait pas de prouver que la somme des quantités de chaleur qui sortent des élémens $\omega_1\ \omega_2\ \omega_3$, etc. à l'infini, et qui parviennent après diverses réflexions au point *o*, équivaut au rayon total *r*. En effet, les distances des élémens $\omega_1\ \omega_2\ \omega_3$, etc. qui s'envoient la chaleur pouvant être extrêmement grandes, on trouverait qu'en supposant l'équilibre déjà formé dans une enceinte entretenue à une température uniforme, et dont la réflexibilité est nulle, cette égalité des températures serait d'abord interrompue si l'état superficiel de l'enceinte était subitement changé, et si l'on n'avait égard qu'à la chaleur propre qui continue d'être émise. Il s'écoulerait un temps considérable avant que l'équilibre pût être

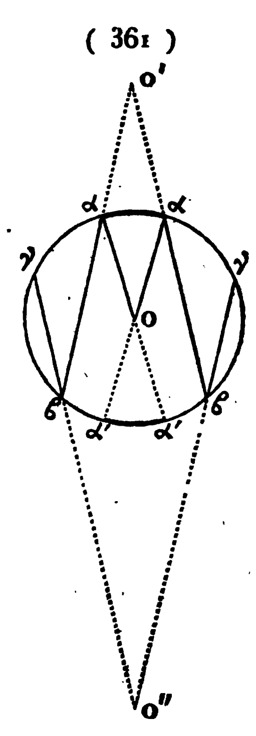
rétabli sensiblement par les seuls rayons qui continuent de sortir des élémens $\omega_1$ $\omega_2$ $\omega_3$, etc. à l'infini.

La distribution de la chaleur serait d'abord troublée. Or, il est certain qu'aucun changement de l'état des surfaces ne peut produire un tel effet. Quel que soit le nouvel état de l'enceinte, l'équilibre ne subit aucune altération, même momentanée, comme le prouve notre première démonstration. Donc, pour expliquer entièrement la conservation de l'égalité des températures, après un changement quelconque de l'état des surfaces, il ne suffirait pas de faire entrer dans le calcul les quantités de chaleur qui sortent des élémens après leur changement d'état : il est indispensable de tenir compte de la chaleur déjà émise, sortie des élémens avant que leur état ne fût changé. Notre démonstration comprend implicitement l'un et l'autre effet ; elle a toute l'étendue de la question à laquelle nous l'avons appliquée.

Lorsqu'on examine très-attentivement cette question, on voit que la proposition principale est celle qui exprime qu'un changement quelconque de la superficie de l'enceinte ne cause aucune interruption, même momentanée, dans l'égalité des températures ; car il est très-facile d'en conclure que le produit des réflexions multipliées à l'infini équivaut au rayon total : il suffit de considérer que, d'après la nature connue des corps, la chaleur émise répandue dans l'espace disparaît graduellement par l'effet des réflexions successives. Mais de cela seul que la somme des produits des réflexions en nombre infini équivaut au rayon total, on ne pourrait point conclure que l'égalité des températures n'est pas interrompue par le changement d'état de la surface.

(10) J'ai remarqué, dans un Mémoire précédent, qu'on ne peut admettre la construction dont M. Poisson s'est servi, en calculant l'effet des réflexions multiples. Les élémens d'une surface courbe peuvent sans doute être regardés comme des surfaces planes infiniment petites, et j'ai souvent fait usage de cette considération dans l'examen des effets de la chaleur directe ou réfléchie; mais il est nécessaire d'avoir égard à l'inclinaison mutuelle des plans. La construction dont il s'agit ne représente donc point, dans les surfaces courbes, le mouvement de la chaleur réfléchie. Je ne puis m'empêcher de regarder cette conclusion comme évidente, et les explications données par l'auteur ne résolvent point la difficulté. Il suffira de citer l'exemple suivant : supposons que le point $o$ soit placé au centre d'un cercle, dont la circonférence est entretenue dans tous ses points à la même température, et que l'on veuille connaître la quantité de chaleur que ce point $o$ reçoit d'un élément $\alpha\alpha$, soit directement, soit par une suite indéfinie de réflexions, il est manifeste que toute la chaleur ainsi envoyée au point $o$ provient de l'élément $\alpha\alpha$ et de l'élément $\alpha'\alpha'$ diamétralement opposé. Or, suivant la construction qui a été l'objet de notre remarque, il faudrait désigner à l'extérieur de l'enceinte un point $o'$ aussi éloigné de la ligne $\alpha\alpha$ que l'est le point $o$, et mener par $o'$ deux droites $o'\alpha$ $o'\alpha$ jusqu'à la rencontre de la circonférence aux points $\beta\beta$. On marquerait ensuite un second point extérieur $o''$ aussi distant de la ligne $\beta\beta$ que le point $o'$, puis on mènerait, par le point $o''$ et par les points $\beta\beta$, deux droites jusqu'à la rencontre de la circonférence aux points $\gamma\gamma$, ainsi de suite à l'infini. On conclurait donc que la cha-

leur envoyée par des réflexions successives, et qui passe de l'arc $\alpha\alpha$ au point $o$, provient des parties de l'enceinte $\beta\beta$ $\gamma\gamma$ $\delta\delta$, etc. Or, il est manifeste que les arcs $\alpha'\alpha'\alpha\alpha$ sont les seules parties de l'enceinte qui communiquent cette chaleur réfléchie par $\alpha\alpha$, ou, ce qui est la même chose, qui la recevraient si elle partait du point $o$. Donc la construction comprend des arcs de plus en plus grands $\beta\beta$ $\gamma\gamma$ $\delta\delta$, etc., dont la plus grande partie n'appartient point à la question. On ne résoud point cette difficulté en disant que la température du point $o$ est suffisamment déterminée par les rayons qui passent à une distance infiniment petite de ce point, et qu'il n'est pas nécessaire que ces rayons réfléchis passent mathématiquement par le point $o$. Sans nous arrêter aux autres conséquences de cette explication, nous dirons que les rayons envoyés par les arcs $\beta\beta$, $\gamma\gamma$ $\delta\delta$, etc., selon les directions que la construction détermine, s'écartent de plus en plus du point $o$, et ne restent point, comme on le suppose, à des distances infiniment petites. Les arcs $\alpha\alpha$ $\beta\beta$ $\gamma\gamma$, etc. croissent comme les nombres 1 3 5, etc., et le pouvoir d'émission pouvant être fort différent pour les différentes parties de l'enceinte, on voit que l'effet général exprimé par cette construction diffère extrêmement de celui que l'on trouverait en suivant un procédé exact. Il est manifeste que la réflexibilité plus ou moins parfaite des parties de l'enceinte différentes de $\alpha\alpha$ $\alpha'\alpha'$ n'influe aucunement sur la quantité de chaleur qui est réfléchie par $\alpha\alpha$ au point $o$.




Dans le dernier Mémoire publié par le même auteur (*Ann. de Chim. et de Phys.*, janvier 1825), on emploie (page 48) une construction différente de celle qui est le sujet de cet article. On attribue la forme cylindrique au rayon qui, tombant sur $m_1$, est successivement réfléchi par $m_1 m_2 m_3$, etc. à l'infini (fig. 5). Désignant par $\alpha \beta \gamma \delta$, etc. les élémens de la partie de l'enceinte que ce filet intercepte, et par $i\,i'\,i''$, etc. les angles que les normales $m_1 n_1$, $m_2 n_2$, $m_3 n_3$, etc. font avec les droites $m_1 o$, $m_2 m_1$, $m_3 m_2$, etc., l'auteur donne les équations $\alpha \cos. i = \beta \cos. i' = \gamma \cos. i''$, etc. pour déterminer les rapports des élémens $\beta \gamma$, etc. avec le premier $\alpha$. Nous dirons, à ce sujet, que ces équations n'existent pas, et que les

rapports $\frac{\beta}{\alpha}$. $\frac{\gamma}{\alpha}$, etc., c'est-à-dire, les dernières raisons des élémens de l'enceinte interceptés par les rayons réfléchis, ne sont point en général les rapports inverses des cosinus.

Quoique les parties infiniment petites des surfaces courbes puissent être regardées comme planes, il ne s'ensuit nullement que les mouvemens de la chaleur ou de la lumière réfléchie puissent être ainsi représentés. Le rayon réfléchi ne conserve la forme cylindrique que dans un cas très-particulier. Les rapports des élémens de l'enceinte où ces réflexions s'opèrent, et que le filet circonscrit, dépendent de la nature des surfaces; c'est une conséquence nécessaire des principes de l'analyse différentielle.

(11) On voit, par tous les résultats de la discussion précédente, qu'elle ne porte point sur la vérité des principes et des propositions qui forment notre théorie de la chaleur rayonnante. Aucun géomètre n'a contesté la vérité de ces propositions. Seulement le célèbre auteur des Mémoires auxquels nous avons répondu regarde comme non applicable à tous les cas la démonstration que nous avons donnée d'un de ces théorêmes; savoir que le pouvoir d'émettre la chaleur, sous une direction déterminée, étant égal au pouvoir de l'absorber sous la même direction, il s'ensuit que la distribution de la chaleur rayonnante dans une enceinte fermée, qui conserve une température uniforme, ne pourrait être troublée par des changemens quelconques de l'état des surfaces de l'enceinte. L'auteur (*Ann. de Chim. et de Phys.*, juillet 1824, pag. 225 et suiv.) reconnaît que l'équilibre des températures a lieu en effet, quelle que soit la na-

ture des surfaces. Il juge cette proposition vraie et importante (page 234); mais il en présente une autre démonstration fondée sur le calcul de l'effet total des réflexions multipliées à l'infini. Après avoir remarqué que j'ai prouvé la distribution homogène de la chaleur pour le cas où la faculté rayonnante est la même dans toute l'étendue de l'enceinte, il ajoute seulement : *Mais je n'ai pas connaissance que l'on ait jusqu'ici démontré la même proposition, en ayant égard à la fois à la chaleur émise et à la chaleur réfléchie.* Le sens de ces expressions est que l'auteur connaissait depuis très-long-temps la proposition générale dont il s'agit, et la démonstration que j'en avais donnée; qu'il avait admis cette démonstration, mais qu'aujourd'hui il ne la croit plus suffisante. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, janv. 1825, pag. 41.) Je ne pouvais donc me dispenser de rappeler, dans ma réponse au Mémoire cité, que j'avais le premier énoncé et prouvé ce théorème dans plusieurs ouvrages rendus publics depuis 1811. Après les éclaircissemens que renferme le présent écrit, je ne doute point que l'auteur du Mémoire ne reconnaisse l'exactitude rigoureuse de la première démonstration. On ne peut point soutenir une objection qui consiste à supposer que le changement survenu dans l'état d'une surface diminue la chaleur qu'elle avait envoyée avant d'être changée.

La discussion qui s'est établie dans ce Recueil, au sujet de la chaleur rayonnante, aura été utile à cette nouvelle théorie, en donnant lieu d'exposer avec plus de détail qu'on ne l'avait fait jusqu'ici les principes et leurs conséquences importantes. Cette théorie est en elle-même beaucoup plus simple que celle du mou-

vement de la chaleur dans les solides, et ne suppose que les notions communes du calcul intégral; mais l'examen des principes demande une extrême attention. En publiant prochainement, sous le titre de *Théorie physique de la chaleur*, les applications principales de la *Théorie analytique*, je présenterai de nouveau les propositions relatives à la chaleur rayonnante, en me restreignant toutefois entre de justes bornes; car une explication trop étendue peut devenir plus obscure qu'une démonstration très-précise. J'ai compris dans ce second ouvrage, outre la théorie de la chaleur rayonnante et diverses applications, la question générale des températures terrestres, et la démonstration des équations différentielles du mouvement de la chaleur dans les liquides.

Pour faciliter la lecture du présent Mémoire, je le termine comme le précédent par une indication sommaire de l'objet de chaque article.

Art. 1er. Origine et objet de la discussion.

Art. 2. Examen de la démonstration d'un théorême principal. On conclut rigoureusement du seul principe de l'égalité d'absorption et du pouvoir d'émission, qu'aucun changement de l'état des surfaces d'une enceinte où l'équilibre des températures s'est formé ne peut troubler cet équilibre. L'objection qui avait été proposée contre cette démonstration est dénuée de fondement.

Art. 3. Lemme dont on déduit l'expression générale de la quantité de chaleur qu'une surface infiniment petite envoie à une autre, soit directement, soit par un nombre quelconque de réflexions.

Art. 4. Cette expression suffit pour réduire à une

question de calcul toute recherche qui a pour objet de déterminer les effets de la chaleur directe ou réfléchie.

Art. 5. La loi du rayonnement, qui consiste en ce que les quantités totales de chaleur envoyées sont proportionnelles aux sinus des inclinaisons, quel que soit l'état des surfaces, se rapporte au cas de l'équilibre.

Art. 6. Lorsque toutes les températures sont égales, l'équilibre subsiste d'élément à élément, quel que soit l'état des surfaces, c'est-à-dire que chaque élément reçoit d'un autre, soit directement, soit par une ou plusieurs réflexions, autant de chaleur qu'il lui en communique.

Art. 7. On prouve d'une manière très-simple qu'un élément reçoit, dans une direction donnée, des quantités partielles de chaleur, ou directes ou réfléchies, dont la somme approche de plus en plus et indéfiniment d'être égale à celle qu'il recevrait si le pouvoir d'émission était total.

Art. 8. Examen des cas où le progrès de l'échauffement ou du refroidissement d'un corps dépend du lieu qu'il occupe dans l'enceinte uniformément échauffée.

Art. 9. La proposition énoncée dans l'art. 7 ne suffirait point pour démontrer que le changement d'état des surfaces ne trouble point l'équilibre. On conclurait que cet équilibre est interrompu, et ne se rétablit que par degrés, si l'on n'avait point égard à la chaleur émise, sortie des élémens de la surface avant leur changement d'état.

Art. 10. Remarques sur le mouvement de la chaleur dans une enceinte concave. Exemple tiré du cercle.

Art. 11. Conclusion.

# SUITE

## *De l'Examen chimique des eaux de Carlsbad, de Teplitz et de Konigswart.*

PAR Mr J. BERZELIUS.

### *De la Quantité d'acide carbonique contenue dans l'eau de Carlsbad.*

Il est très-difficile de puiser l'eau de Carlsbad de manière qu'elle ne perde pas, quand on en remplit des vases, une quantité considérable de gaz acide carbonique. On y parviendrait peut-être si l'on pouvait disposer, pendant quelques heures, des embouchures par lesquelles l'eau s'écoule, et si l'on avait un appareil pneumatique au mercure. Il faudrait, alors, conduire l'eau, de l'embouchure jusqu'au fond du vase de verre renversé dont on voudrait se servir pour recueillir les gaz qui s'en dégagent, à l'aide d'un long tube; il faudrait ensuite, après que l'eau aurait coulé quelque temps hors du contact de l'air dans le vase, l'enlever et l'adapter promptement à un appareil qui permît d'en expulser le gaz et de le recueillir sur du mercure. Mais je n'avais rien de semblable à Carlsbad.

J'espérais parvenir à mon but de la manière suivante : mais je dois avertir qu'elle ne me réussit point. Je croyais qu'il s'agissait seulement de connaître la nature du gaz qui est sur l'eau, dans le réservoir du Sprudel (Sprudelkessel), et que je pourrais calculer alors, d'après ce que nous savons relativement à la solubilité des gaz sous une pression et à une température données, la

quantité d'acide carbonique que l'eau qui est en contact avec cet atmosphère peut dissoudre. Je recueillis, à cet effet, une certaine quantité du gaz qui se trouve sur l'eau chaude, au-dessous de la croûte du Sprudel. Je forai pour cela, au bord du Tepel, un petit trou dans la croûte du Sprudel : l'eau et le gaz en sortaient alternativement. Je formai autour de ce trou, avec de l'argile plastique, un petit bassin qui se remplit bientôt d'eau. Je recevais ainsi avec commodité, dans des bouteilles renversées et remplies d'eau, le gaz qui, provenant de ce trou, passait à travers le liquide. J'ai recueilli de la même manière une certaine quantité de gaz, qui s'élève toujours en bulles sur un côté du bassin du Theresienbrunnen. Mes bouteilles étaient fermées avec des bouchons usés à l'émeri. Voici comment je procédai à l'examen du gaz qu'elles contenaient : une certaine mesure de ce gaz fut conduite sur du mercure dans un tube gradué; et un morceau d'hydrate de potasse, fixé à un fil de fer très-fin, fut placé dans le tube. Je retirai avec précaution le morceau de potasse lorsque tout le gaz fut absorbé, de manière qu'aucune bulle d'air ne restât sur sa surface. Le gaz du Sprudel laissa dans le tube une petite bulle de gaz si petite qu'on n'aurait su comment la mesurer : elle ne remplissait pas certainement plus de $\frac{1}{1000}$ du volume total. Quant au gaz du Theresienbrunnen, il me fournit, dans deux essais différens, 1 p. c. d'un gaz dont le volume ne fut diminué ni par la potasse ni par une solution de sulfure de potassium, et qui me sembla être de l'azote. J'avais pensé que le gaz de l'eau du Sprudel devait contenir de l'azote provenant de l'atmosphère, d'après tous les motifs que

nous avons de croire que l'eau du Sprudel doit son origine à l'eau atmosphérique, qui se charge de substances minérales en traversant la terre. Cet air atmosphérique, où peut-il être resté ?

Je cherchai ensuite à déterminer la quantité d'acide carbonique contenue dans l'eau du réservoir du Sprudel (Sprudelkessel), dans la supposition que l'eau de la fontaine en renferme une quantité égale à son volume (1), à 75° de chaleur, et à la pression à laquelle l'eau est soumise dans le réservoir. On peut estimer celle-ci par la hauteur de la fontaine du Sprudel au-dessus de la surface de l'eau. Je trouvai que le gaz carbonique libre devait occuper les $\frac{3}{4}$ du volume de l'eau à une température de 0°, ou les $\frac{4}{5}$ à une température de 18°. Quand on y ajoute l'acide carbonique des bi-carbonates, qui est 0,75 gr. sur 1000 gr. d'eau, ou, à l'état de gaz, 378 centimètres cubiques, ou, enfin, quand on le calcule d'après la pesanteur spécifique, 0,396 du volume de l'eau à la température 0°, on trouve que l'eau doit donner, en la faisant bouillir, au moins $\frac{1}{10}$ de son volume de gaz carbonique. On reconnaît cependant déjà, par le goût de l'eau, qu'il n'en est pas ainsi. Becher trouva exactement autant de gaz carbonique qu'en contiennent les bi-carbonates; Klaproth en trouva un peu moins; Reuss, au contraire, un peu plus. Il paraît que

---

(1) Ou plutôt à 1,04 de son volume, parce que M. de Saussure a trouvé que l'eau prend 1,06 de son volume de gaz carbonique, et que 0,02 p. en doivent être soustraits pour les sels que l'eau contient en dissolution.

l'eau du Sprudel contient, quand elle arrive au jour, un peu plus d'acide carbonique que les bi-carbonates.

Il faut faire ici attention à une circonstance qu'on a négligée dans la détermination de la solubilité des gaz dans l'eau, mais qui est de peu d'influence à une température basse. L'eau a, par elle-même, une certaine tension à chaque température et à chaque pression. Le gaz qui se trouve sur la surface du liquide contient toujours un peu de vapeur d'eau, qui agit, dans ce cas, comme chaque autre gaz. Si un mélange de gaz carbonique et de gaz d'eau (c'est ainsi que je nommerai, pour abréger, la vapeur d'eau) est placé sur un liquide, les pores de celui-ci se rempliront des parties de ce mélange : conséquemment, la quantité de gaz pur, par exemple, celle du gaz acide carbonique, que l'eau absorbe à une température et à une pression données, est déterminée par la quantité qui établit l'équilibre, à cette température et à cette pression, entre le gaz carbonique et le gaz d'eau, tant dans le liquide que hors de lui. Chaque gaz pur qu'on met en contact avec l'eau devient aussitôt, par la vaporisation de cette eau, un gaz mélangé, et la proportion du gaz d'eau au gaz permanent augmente avec la température. Si cela n'était pas ainsi, on ne pourrait pas chasser de l'eau, par l'ébullition, une quantité de gaz plus grande que celle qu'on obtient par la différence entre le volume du gaz et de l'eau à la chaleur de l'eau bouillante; tandis qu'on peut chasser par l'ébullition tout le gaz. Un gaz qu'on a fait passer longtemps dans de l'eau qui en renferme déjà un autre, chasse à la fin celui-ci de la même manière, et il se met à sa place. Un gaz est chassé par l'ébullition tant que les

pores du liquide ne contiennent que le gaz d'eau. La capacité de l'eau pour son propre gaz est cependant tout-à-fait inconnue : on ne pourra pas calculer la quantité de gaz acide carbonique contenue dans l'eau du réservoir de Carlsbad, tant que cette capacité ne sera point connue (1).

*Analyse du dépôt qui se forme quand on conserve l'eau de Carlsbad dans des bouteilles.*

Un faible dépôt s'était formé au fond des bouteilles de l'eau de Carlsbad qu'on m'avait envoyées ; il était assez adhérent au verre pour que l'on pût l'enlever avec une plume, après avoir décanté l'eau claire : je l'ajoutai à l'eau qui devait être analysée. Je rassemblai ensuite le dépôt de l'eau de quelques bouteilles, dont je n'avais plus besoin, et je l'abandonnai à lui-même, mélangé avec de l'eau distillée, dans des vases ouverts ; il y resta en suspension, et tomba enfin au fond en flocons d'un brun foncé. L'aspect du précipité me fit soupçonner la présence du protoxide de manganèse. Il prit sur le filtre sur lequel je l'avais rassemblé une couleur presque noire, devint, en se séchant, d'un gris foncé ; en le

(1) Il serait bien desirable qu'on pût connaître la capacité de l'eau pour son propre gaz, et savoir, pour toutes les températures comprises entre 0 et 100°, comment agit le gaz d'eau lorsqu'il chasse un autre gaz contenu dans ce liquide. On ne peut regarder les excellens essais dont M. Théodore de Saussure a enrichi la science à cet égard, comme exacts, que pour la température à laquelle les expériences ont été faites.

faisant rougir, il passa au blanc. Lorsque je le mis, encore humide, dans de l'acide sulfurique concentré, l'acide aussi devint noir; je ne pus découvrir aucun signe de dégagement d'acide fluorique. L'acide sulfurique laissa une silice noire, qui devint blanche en la faisant rougir. L'ammoniaque caustique précipita du liquide acide filtré une substance jaunâtre; le liquide restant ne contenait pas une trace de chaux. Le précipité se dissolvit en partie lorsque je le traitai avec de la potasse caustique : ce qui se dissolvait était du sous-phosphate d'alumine, et ce qui ne se dissolvait pas était du sous-phosphate de fer. Ce précipité agit cependant sur une lame de platine, avec le carbonate de soude, comme du manganèse.

Il est donc composé, d'après cette analyse, d'un silicate d'oxide de fer, d'un sous-phosphate de fer et d'un sous-phosphate d'alumine. Ces sels sont mêlés à une autre substance d'une origine végétale, qui est incolore lorsque l'air n'a pas encore agi sur elle, mais qui devient noire par l'action de l'air. Cette substance paraît être une partie constituante habituelle de ces sortes d'eaux minérales. Je l'ai trouvée, par exemple, combinée avec de la silice presque exempte de fer qui se déposait de l'eau du Schiersauerling, près de Konnigswart. La silice qu'on obtient par l'analyse de ces eaux est presque toujours d'une teinte plus ou moins foncée, tant qu'on n'a pas détruit la substance organique par la chaleur. Cette substance paraît avoir une grande affinité pour la silice, qu'elle accompagne de préférence à toutes les autres parties constituantes de l'eau. La terre, presque noire tant qu'elle est humide,

devient grise en se séchant, et reprend sa couleur noire quand on l'humecte de nouveau.

---

M. le Dr Pohl eut la bonté de me fournir une grande quantité de différentes espèces de pierres du Sprudel, afin que je pusse les examiner.

La pierre du Sprudel est un calcaire fibreux, cristallin, sans aucune texture lamelleuse. Elle est ou brune, ou blanche, ou rubannée de brun et de blanc. La variété brune contient une quantité beaucoup plus grande d'oxide de fer que la blanche, qui en est quelquefois tout-à-fait exempte. Cette circonstance mène à supposer, ou qu'il y a des différences accidentelles dans la quantité de fer que l'eau contient à diverses époques, ou que l'atmosphère a parfois un accès plus grand et plus libre vers le liquide, et qu'une plus grande quantité de protoxide de fer trouve alors occasion de se saturer d'oxigène et de se séparer. Les pierres du Sprudel diffèrent de plus entr'elles par leur texture. Elles sont quelquefois fibreuses d'une manière très-marquée, quelquefois compactes et sans aucune trace de fibres : j'en ai vu de cette dernière espèce qui étaient translucides sur les bords et fort ressemblantes au magnésite ou au gurofian ; plusieurs avaient été évidemment altérées depuis leur extraction : leur teinte était devenue jaunâtre.

Quand on essaie la pierre du Sprudel au chalumeau, elle se gonfle, perd sa couleur et tombe en poussière, ou d'elle-même ou au moindre mouvement. Si on fait cet essai dans un petit matras de verre, on obtient une petite quantité d'eau. Plus la pierre du Sprudel est fi-

breuse, plus ce phénomène est visible : c'est là également un des caractères principaux de l'arragonite (1). La pierre du Sprudel ressemble donc parfaitement à l'arragonite, non-seulement dans sa texture fibreuse, dans l'absence de tout clivage, mais aussi dans la manière dont elle se comporte à une température élevée.

M. Stromeyer ayant démontré que l'arragonite contient toujours de petites quantités de carbonate de strontiane, je pensai devoir chercher cette substance dans la pierre du Sprudel et dans l'eau : sans cela, elle aurait certainement échappé à mon attention.

La pierre du Sprudel compacte ne donne presque pas d'eau, et ne s'altère que très-peu lorsqu'on la calcine.

Ayant déjà décrit le procédé analytique dont je me suis servi, je ne mets ici que les résultats :

1. La pierre du Sprudel déposée sur les chaudières d'étain de l'établissement de M. Becher, est composée, d'après l'analyse que j'ai décrite plus haut, mais dont je n'ai pas réuni les résultats, sur 100 parties, de :

---

(1) Quand on chauffe dans un petit matras de verre des petits morceaux de satinspath d'Angleterre, d'arragonite et de pierre du Sprudel, l'arragonite tombe la première en poudre ; le phénomène se manifeste ensuite dans la pierre du Sprudel, mais le satinspath n'est pas changé. L'arragonite tombe d'autant plus facilement en poussière qu'elle contient plus de strontiane.

| | |
|---|---|
| Carbonate de chaux ....... | 96,47 ; |
| Fluate de chaux.......... | 0,99 ; |
| Phosphate de chaux ...... | 0,06 ; |
| Carbonate de strontiane ... | 0,30 ; |
| Phosphate d'alumine...... | 0,10 ; |
| Oxide de fer ............ | 0,43 ; |
| Oxide d'étain............ | 0,06 ; |
| Eau...................... | 1,59. |

Faibles traces de manganèse.

2. Une variété brune, fibreuse, très-dure et qu'on emploie à Carlsbad pour des ornemens polis : sa pesanteur spécifique était =2,863. Elle se dissolvait dans l'acide nitrique sans résidu, et l'ammoniaque caustique précipitait de la solution 1,275 p. c. L'analyse donna, sur 100 parties :

| | |
|---|---|
| Carbonate de chaux....... | 97,00 ; |
| Fluate de chaux.......... | 0,69 ; |
| Carbonate de strontiane.... | 0,32 ; |
| Phosphate de chaux ...... | 0,59 ; |
| Phosphate d'alumine...... | |
| Oxide de fer............ | |
| Eau.................... | 1,40. |

3. Une pierre du Sprudel blanche, d'une cassure en partie saccharoïde et en partie un peu fibreuse, laissa, lorsqu'on voulut la dissoudre dans l'acide muriatique, un résidu d'une substance translucide, qui formait une poussière blanche après avoir été séché, qui fondait au chalumeau, qui, traité par l'acide sulfurique, laissait dégager de l'acide fluorique silicé en donnant un résidu

de sulfate de potasse ; qui était, en un mot, un fluo-silicate de potasse. La dissolution, précipitée par l'ammoniaque caustique, donna 0,6 p. c. du poids de la pierre, d'un précipité jaunâtre, qui consistait en 0,47 p. c. de fluate de chaux, en 0,07 p. c. de phosphate de chaux et d'alumine, et en 0,06 p. c. d'oxide de fer. Lorsque le liquide, précipité par l'ammoniaque, fut évaporé à siccité, il se déposa, vers la fin de l'opération, une plus grande quantité de fluo-silicate de potasse ; mais je n'en déterminai pas le poids, à cause de l'impossibilité de le laver. La présence de ce sel prouve que la pierre du Sprudel contient quelquefois de la potasse. Cette pierre ne perdait, en la faisant rougir, que 0,53 pour cent.

4. Je fis dissoudre une certaine quantité de la variété de la pierre du Sprudel, compacte, blanche ; qui ressemble au magnésite, pour déterminer s'il n'y a que la variété fibreuse qui contienne de la strontiane. J'y trouvai du fluate de chaux et les phosphates des terres, comme dans les autres ; l'alcool laissa un résidu de nitrate de strontiane, qui paraissait être en même quantité que dans les échantillons déjà essayés. L'aspect extérieur de cette variété de la pierre du Sprudel m'engagea à examiner si elle contenait de la magnésie ; mais je n'en découvris pas.

5. Une variété particulière se forme autour de l'ouverture de la croûte du Sprudel dans laquelle j'ai recueilli l'acide carbonique pour mes essais. Une tache de la grandeur de la main et d'une surface luisante et noire s'était formée à l'endroit où l'eau de cette petite foutaine tombait perpétuellement. J'enlevai la croûte noire supérieure : elle avait l'épaisseur d'une demi-ligne ;

elle était d'une cassure compacte et d'une couleur rouge-brunâtre; il n'y avait de noir que la surface lisse. Quoique la couleur de la cassure ne fût que rouge-brunâtre, cette variété contenait une quantité considérable de protoxide de fer; car sa dissolution dans l'acide muriatique était précipitée par l'ammoniaque en noir. Je la fis dissoudre, à cause de cela, dans l'eau régale. La solution donna, par l'évaporation, une gelée, et traitée de la manière décrite, elle me fournit, sur 2 gr. de la pierre, 0,079 gr. de silice, ayant une couleur aussi foncée que celle que j'avais obtenue de l'eau du Sprudel même; elle devint cependant blanche en la faisant rougir. L'ammoniaque précipita de la solution 0,567 gr., qui ne donnèrent pas avec l'acide sulfurique la moindre trace d'acide fluorique. La dissolution dans l'acide sulfurique fut sursaturée avec de la potasse caustique et mise en ébullition. Elle donna 0,012 gr. de phosphate d'alumine avec excès de base, et après la précipitation de l'alumine, j'obtins, par l'eau de chaux, 0,03 gr. de phosphate de chaux, qui contiennent 0,0147 gr. d'acide phosphorique. Après que l'oxide de fer eut été dissous et précipité ensuite avec le prussiate de potasse, il resta un liquide qui ne fut plus troublé par l'ammoniaque caustique. La chaux de la dissolution dans l'eau régale ayant été précipitée par l'oxalate d'ammoniaque, le liquide ne fut pas troublé par le phosphate d'ammoniaque avec excès de base. Cette pierre du Sprudel perdit en la faisant rougir, 13,06 p. c., qui consistaient en 9 p. c. d'eau et 4,66 p. c. d'acide carbonique provenant du carbonate de fer. Cette pierre est donc composée ainsi :

| | |
|---|---|
| Carbonate de chaux.............. | 43,20 ; |
| Sous-phosphate de peroxide de fer. | 1,77 ; |
| Peroxide de fer................... | 19,35 ; |
| Carbonate de protoxide de fer..... | 12,13 ; |
| Phosphate d'alumine............... | 0,60 ; |
| Silice.............................. | 3,95 ; |
| Eau................................ | 9,00. |

*De la Chaleur des eaux de Carlsbad, et de ses propriétés particulières.*

Aucun observateur n'a été certainement devant la fontaine fumante de Carlsbad sans se demander d'où provenait la haute température de l'eau. Cette question n'est pas facile à résoudre, puisqu'on ne peut pas suivre le liquide jusqu'à l'endroit où l'échauffement a lieu. On a déjà indiqué des causes très-diverses de ce phénomène ; qu'il me soit donc permis de présenter là-dessus quelques hypothèses, quoique je sois persuadé qu'on n'apprendra jamais avec certitude, ni le mode d'échauffement de l'eau, ni comment elle peut renfermer des substances que nos montagnes, autant du moins que les travaux des mineurs ont permis de le reconnaître, ne contiennent pas en quantité suffisante : par exemple, du sulfate et du carbonate de soude, que la nature prodigue ici tous les ans (1).

(1) Gilbert calcule que l'eau de Carlsbad qui s'écoule chaque année renferme, sans qu'on en profite, 200000 quintaux (de 110 livres) de carbonate de soude, et 300000 quintaux de sulfate de soude à l'état cristallin. Il serait cependant

Il me paraît très-vraisemblable que la chaleur de l'eau et les propriétés des substances dissoutes sont essentiellement liées entr'elles, de sorte qu'on ne pourra pas séparer l'explication des phénomènes de température des hypothèses relatives à l'origine des parties constituantes du liquide.

Becher suppose qu'une eau contenant du muriate de soude coule sur une couche de sulfure de fer embrasée et dont l'acide sulfurique change le sel marin en sel de Glauber. Son hypothèse se fonde sur cette circonstance, que lorsqu'en bâtissant le Muhlbad, on fut obligé de faire sauter quelques parties de la roche sur laquelle il est établi, on trouva dans le granite, à l'endroit où le Muhlbrunnen paraît, une grande couche de hornstein, qui était extrêmement mêlée de sulfure de fer. Il croit très-probable que le principal conduit de l'eau chaude se trouve dans le granite, précisément à la jonction des deux couches, et qu'il aboutit au réservoir du Sprudel, dont nous avons parlé plus haut.

Mais, sans faire remarquer que le fer ne doit pas être rangé dans la classe des corps qui peuvent être embrasés facilement, l'eau chaude de Carlsbad, si l'hypothèse de Becher avait quelque probabilité, devrait être une eau acide *ferrifère*, contenant du fer, tandis qu'elle est alcaline et ne contient que très-peu de ce métal. L'espèce de sulfure de fer qui s'embrase facilement est un minéral très-rare, et j'ignore si on connaît quelque

---

bien facile d'extraire ces sels, attendu que la chaleur naturelle de l'eau pourrait beaucoup aider à sa concentration par la graduation.

part une couche de sulfure de fer embrasé qui ne soit pas accompagnée par la houille. La masse de sulfure de fer qui fut embrasée par le bois, dans les mines de Fahlun, vers la fin du siècle passé, ne brûla que durant quatorze à quinze ans; et pendant tout ce temps un gaz sulfureux sortit constamment par les fentes de la montagne. L'embrasement cessa alors de lui-même, au milieu de la masse énorme de sulfure de fer qui forme cette mine.

Klaproth, qui sentit les difficultés de l'hypothèse de Becher, imagina que l'eau chaude de Carlsbad était échauffée par une couche puissante de houille, embrasée par le sulfure de fer. Comme il paraissait que la couche mentionnée de hornstein était beaucoup moins ancienne que le granite, Klaproth croyait qu'une couche de houille pouvait être placée sous elle, et se trouver assez près de l'embouchure des sources. Puisque nous avons des exemples d'embrasement de couches de houille qui ont duré plusieurs siècles, il ne lui répugne pas de supposer que c'est là la cause de la haute température dont jouissent les eaux de Carlsbad depuis quatre cent cinquante ans qu'elles sont connues. Il se figure de plus que l'acide carbonique est dégagé d'une pierre calcaire, par la chaleur de la couche brûlante de houille, et que l'eau chaude en est imprégnée parce qu'il n'a pas d'issue libre. Le sulfate de soude se formerait alors aux dépens du sel marin que cette eau contiendrait : l'acide sulfurique proviendrait du sulfure de fer de la houille; et la chaux, comme l'acide carbonique, du calcaire. « Nous ne pouvons pas cependant découvrir aussi bien, dit Klaproth, le mode que la nature emploie pour produire

l'alcali minéral libre contenu dans les eaux de Carlsbad; car les procédés de nos laboratoires ne conduiraient pas au but. Du reste, la nature peut suivre des chemins qui nous sont inconnus, et l'action continue de la chaleur souterraine et des vapeurs humides suffit probablement déjà pour chasser une partie de l'acide du sel marin, et pour laisser sa base alcaline libre. Les pyrites de fer, la houille, le calcaire et les eaux salées sont ainsi les matériaux dont la nature se sert pour la production de ces sources chaudes. »

M. de Buch (1) a fait observer que si les nombreuses traces de feux souterrains qu'on trouve dans la partie nord-ouest de la Bohême, et même très-près de Carlsbad, sont favorables à l'hypothèse de Klaproth, d'un autre côté, on n'a pas encore aperçu, dans des couches de terrain, l'ordre de superposition qui résulterait de la destruction de la couche combustible, et ainsi disparaît ce que l'hypothèse en question présentait de plus spécieux. Une couche brûlante de houille ne laisserait-elle pas d'ailleurs dégager une foule de produits qui résultent toujours de la combustion de cette substance. Ces produits, se dégageant par les fentes des couches supérieures, viendraient se déposer sur les corps froids, et l'on trouverait, à la surface de la terre, du muriate et du sulfate d'ammoniaque, du soufre et plusieurs autres substances qu'on ne rencontre pas du tout dans les environs de Carlsbad.

---

(1) *Ein Beitrag zu einer mineralogischen Beschreibung der Karlsbader Gegend von L. C. v. B. dans le Bergmannische Journal de Friberg, an* 1792, *p.* 383.

L'eau ne contient pas de sels ammoniacaux, et elle est exempte de substances combustibles; car le sel blanc et la terre qui restent après l'évaporation de l'eau, ne se colorent que très-peu quand on les fait rougir dans un matras. La combustion d'une couche de houille peut durer long-temps; mais elle finirait certainement après plusieurs siècles. La chaleur des eaux de Carlsbad date très-probablement d'une époque plus ancienne que celle de leur découverte, qui se fit, assure-t-on, l'an 1358, à une chasse de l'empereur Charles V. Je n'ai, pour le prouver, qu'à rappeler que la couverture du réservoir du Sprudel (et cette couverture est formée de l'espèce toute particulière de pierre que nous avons appelée *pierre du Sprudel*) est, sur un long espace, le fond immédiat de la rivière Tepel; il faut par conséquent que le réservoir du Sprudel avec sa couverture de pierre ait été déjà formé avant que la vallée dans laquelle Carlsbad est situé fût creusée par la rivière autant qu'elle l'est à présent : cela veut dire que le réservoir du Sprudel est plus ancien que tous les souvenirs historiques. Il existait peut-être avant la rivière, et il était contemporain des révolutions violentes qui ont formé cette vallée escarpée.

L'hypothèse de Klaproth ne suffit pas même pour expliquer comment les eaux auraient reçu leurs parties constituantes. On a bientôt dit que l'acide carbonique est dégagé du calcaire par la chaleur; mais quelle serait cette température qui, assez forte pour chasser ce gaz d'une couche calcaire ayant un mètre d'épaisseur, pourrait continuer cette action jusqu'à une épaisseur de 2 ou 3 mètres? Les hauts fourneaux, dans lesquels la chaleur paraît

être plus grande que dans le foyer des volcans, n'ont pas besoin d'une muraille de pierre très-épaisse pour que la chaleur soit arrêtée au point que leur surface extérieure n'est pas sensiblement échauffée. On pourrait supposer que le calcaire d'où l'acide carbonique s'est dégagé était mêlé avec la substance qui brûlait; mais l'eau chaude contiendrait alors aussi les autres produits volatiles de la combustion. Celui qui veut produire l'acide sulfurique par l'intermédiaire des pyrites doit montrer où restera le sulfate de fer qui se formera en même temps; et quand on admet que la soude vient du sel marin, il faut faire voir où passe l'acide muriatique dégagé. Au reste, autant il est aisé de se convaincre de l'insuffisance de ces explications, autant il est difficile d'en imaginer une qui soit plus vraisemblable.

Examinons, pour nous placer de plus près sur la trace de la nature, si le Sprudel de Carlsbad est le seul de son espèce, ou s'il n'y a pas ailleurs des sources semblables; voyons, dans ce dernier cas, si nous ne pouvons pas attribuer l'origine et les propriétés particulières de toutes ces sources à des causes générales et de même nature.

On comprend d'abord aisément que l'existence du réservoir du Sprudel est une circonstance accidentelle toute particulière à cette source, et que nous ne devons pas actuellement la prendre en considération.

Dans cette localité particulière, l'eau chaude a probablement trouvé à la surface, au moment de sa première éruption, une cavité formée peut-être par des blocs de pierre, et où elle a commencé à perdre son acide carbonique. Le calcaire, en se déposant, a incrusté

les parois de l'enfoncement. Les sources de Carlsbad peuvent, à cet égard, être uniques dans le monde sans qu'elles cessent pour cela d'appartenir à une classe générale de phénomènes naturels.

Nous savons que, dans les environs de beaucoup de volcans encore en activité, il existe des sources chaudes qui donnent de l'eau en quantité énorme. La chaleur de ces sources prouve qu'elles passent auprès du foyer volcanique par lequel elles sont échauffées. On y découvre simultanément une foule de substances qui sont étrangères aux eaux des sources ordinaires, principalement différens sels de soude, tels que le sulfate, le muriate, le carbonate, et une plus grande quantité de silice que l'on n'en trouve communément dans les eaux minérales : je ne citerai ici, dans ce genre, que les sources chaudes d'Islande, dont on a fait, il y a quelque temps, l'analyse. Ces eaux contiennent aussi quelquefois des sulfures alcalins, ce qui prouve que, dans le lieu où l'eau dissout ces substances, l'action du volcan ne s'est pas étendue assez loin pour tout oxider, ou que le foyer a changé de place avant d'avoir épuisé son action.

Nous ne pouvons nous rendre compte de l'existence d'un courant non interrompu de liquide, qu'en supposant qu'il est continuellement soulevé par une masse d'eau inférieure qui provient de l'atmosphère : sans cela, il faudrait admettre dans l'intérieur de la terre l'existence d'une substance qui, pour ramener l'eau à la surface, devrait prendre sa place ; mais cette substance, que serait-elle? d'où viendrait-elle? Les fontaines chaudes, auprès des volcans, sont nourries par l'eau météorique, comme les autres sources ; mais puisque cette eau entre

pure dans la terre et en sort chargée de sulfate, de carbonate et de muriate de soude, ces sels doivent être un produit général et commun de l'activité volcanique. Supposons maintenant que le volcan ait fini ses explosions, qu'il soit passé à cet état que nous nommons *éteint* : le cratère est alors bouché par la lave refroidie ; il est rempli de cendres, de sable et de scories, qui se détachent des flancs. Le foyer brûlant se refroidit peu à peu ; mais la chaleur ne peut s'échapper que par la masse environnante de la montagne : or, cette masse appartient aux plus mauvais conducteurs du calorique ; des siècles peuvent s'écouler avant que ces lieux ne prennent la température moyenne de la contrée où ils se trouvent, et nous pouvons regarder le temps qui s'est écoulé depuis que l'ordre présent a commencé sur la surface de la terre, comme une petite partie de celui qui serait nécessaire pour le refroidissement parfait du foyer, si la masse était grande et située à une profondeur considérable. Mais les sources qui se trouvent dans le voisinage d'un volcan continuent, après son extinction, de couler par les anciens canaux, tant que l'eau atmosphérique y pénètre ; elles sourdent salées tant qu'elles trouvent sur leur chemin des sels qu'elles puissent dissoudre, et à une température élevée tant que les terrains qu'elles parcourent sont échauffés par le foyer voisin, encore chaud, du volcan éteint. L'absence de tout souvenir historique de l'éruption du volcan n'est évidemment pas une difficulté qui doive arrêter.

A mesure que la température du terrain et la quantité de sels qu'il renferme diminueront, soit ensemble, soit séparément, nous aurons ou des sources tempérées

et riches en sels et en acide carbonique, ou des sources chaudes et pauvres en substances dissoutes. Plus tard, enfin, l'eau viendra au jour avec les propriétés de celle que fournissent les sources qui n'ont aucune communication avec les volcans. Ces caractères des sources volcaniques s'appliquent-ils maintenant aux sources chaudes de Carlsbad?

Les observateurs qui auront examiné les masses énormes d'origine volcanique qui entourent Carlsbad, depuis Engelhaus jusqu'à Schlaokenwerth, répondront positivement. Ce n'est pas que des savans d'un mérite distingué n'aient essayé de prouver que les basaltes, les phonolites, les amygdaloïdes, les trachytes n'ont pas une origine volcanique, et qu'ils se sont formés par les procédés de la voie humide. Mais après avoir étudié avec plus d'attention qu'on ne l'avait fait auparavant, durant les trente dernières années, les volcans éteints qu'on trouve en France, dans les anciennes provinces d'Auvergne et du Vivarais, on est parvenu à une connaissance plus sûre des produits du feu, et on a commencé à distinguer les roches volcaniques qui ne sont que locales, de celles dont se compose la masse principale de l'écorce du globe. Nous n'aurons pas besoin d'examiner ici si ces dernières sont formées par le moyen du feu ou de l'eau. Une partie de la Bohême septentrionale, celle principalement où il existe un grand nombre de sources minérales, ressemble tellement aux contrées volcaniques de France, que celui qui a vu ces dernières n'a besoin que de jeter un coup-d'œil sur les laves dont on a pavé partout les chemins dans cette partie de la Bohême, pour y reconnaître tout de suite une contrée du même

genre. Nous avons, en Auvergne, le Puy-de-Dôme, qui a, comme les montagnes coniques de la Bohême, la forme d'un cratère, sans l'être en effet, mais qui n'est composé que de roches volcaniques, ou au moins de roches qui montrent encore des signes de la plus violente action du feu. Cette montagne est entourée de toutes parts de volcans éteints, dont on peut suivre les coulées de laves, le long des vallées, jusqu'à la plaine de la Limagne. Une grande quantité de sources plus ou moins chaudes jaillissent entre ces volcans. Elles sont riches en acide carbonique, en carbonate, sulfate et muriate de soude; elles déposent aussi de la chaux. Je ne citerai que celles de St-Mars, de St-Allyre, de Vichy. La source chaude connue du Mont-Dore, qui a tant d'analogie avec celles de Carlsbad, et dont on se servait déjà dans le temps de Jules-César, puisqu'on l'avait fait couvrir d'un petit bâtiment en pierre qui existe encore à présent, sort au milieu d'énormes débris de roches volcaniques. Une source froide vient au jour à peu de distance au-dessus de la source chaude; on y trouve de l'acide carbonique et les sels contenus ordinairement dans ces eaux, à-peu-près comme dans la source nommée *der Katte Sauerling dans la Doresheens Ane*, à Carlsbad. Les sources chaudes de St-Nectaire, où l'on a formé récemment un établissement de bains, sont situées à quelques lieues de distance des premières, sur l'autre côté de la montagne. La contrée est évidemment volcanique; elle n'a cependant pas un cratère visible, quoique des montagnes, composées de masses volcaniques, s'y trouvent en foule. Les sources de cette nature disparaissent aussitôt qu'on s'éloigne de l'Au-

vergne; mais elles se présentent de nouveau quand on s'approche du Cantal, qui est aussi volcanique. Là, on rencontre des sources dont la température atteint celle de l'ébullition. Dans le Vivarais, on est placé de même sur un terrain volcanique, et de même aussi on trouve des sources alcalines contenant de la soude. La relation qui existe entre le terrain volcanique et les sources riches en acide carbonique, excita mon attention durant un voyage que je fis, dans l'année 1819, en Auvergne et en Vivarais. Je fus frappé principalement par une eau très-agréable, contenant de l'acide carbonique, qui forme un jet perpétuel au pied du beau volcan situé près de la petite ville de Langeac, sur le bord de l'Alignon. L'origine volcanique du basalte est si claire en France, et principalement à Langeac, que personne, après avoir vu les coulées de lave basaltiques sur les croupes de Langeac, du Souliol et du volcan voisin du village de Thyet, n'en saurait douter.

Lorsque, l'année passée, j'entrai en Bohême, en venant de Dresde, éclairé par ces observations antérieures, je vis avec étonnement, quand je m'approchai de Teplitz, se répéter les scènes de l'Auvergne; elles se continuèrent autour de Bilin, Meerschowitz, Liebkowitz et Buchau, jusqu'à ce que le bel Engelhaus, dans le voisinage de Carlsbad, avec sa colline de scorie ressemblant à un cratère, se montra à mes regards. Avec les terrains volcaniques, les eaux minérales apparurent de suite; je trouvai d'abord des sources chaudes à Teplitz; ensuite des sources alcalines à Bilin, contenant de l'acide carbonique; les sources de Sedlitz et de Seidschitz, les sources minérales de Carlsbad, les plus remarquables

de toutes, et les sources minérales de Marienbad et de Eger. La partie nord-est de la Bohême est riche en débris volcaniques, et outre les sources nommées, on y trouve une quantité extraordinaire de sources froides, nommées *Sauerlinge*, qui ne sont employées par personne. Il est vrai qu'on ne voit pas les cratères d'où ces énormes coulées de basalte sont autrefois sorties : c'est pour cela qu'on a méconnu long-temps leur origine. Mais quoique ces ouvertures soient maintenant détruites et recouvertes par suite des changemens qui ont eu lieu à la surface de la terre : quoique les masses environnantes de scories et de cendres volcaniques qui formaient les cratères coniques, aient reçu une autre forme et pris une autre place, les caractères volcaniques de la lave restante ne sont pas pour cela moins évidens. La terre a eu sans doute des volcans véritables dans toutes les périodes des changemens de sa surface, quoique plus tard des révolutions aient détruit les indices qui pourraient faire connaître les endroits par lesquels les déjections ont été projetées. M. de Buch paraît être porté à admettre l'hypothèse, que les laves basaltiques sont sorties de la terre sans cratère. Cela n'est pas impossible; mais puisque le cratère est toujours un effet des efforts des vapeurs élastiques qui poussent la lave fondue, il faut admettre du moins que l'éruption d'une lave sans cratère doit être très-rare. On ne trouve plus de cratère au Mont-Dore, comme je l'ai dit; ce terrain volcanique est aussi celui qui ressemble le plus au terrain de la Bohême.

Si de la ressemblance de ces deux terrains, sous le rapport de leur richesse en sources chaudes ou froides

contenant de l'acide carbonique, nous passons à la composition chimique des eaux qui en sortent, nous y découvrirons une nouvelle analogie. Le tableau suivant donne les principes constituans, sur 1000 parties en poids du liquide, pour les sources du Mont-Dore, de Saint-Nectaire, département du Puy-de-Dôme, et de Chaudes-Aigues, département du Cantal; d'après les analyses de M. Berthier; de plus, les parties constituantes du Sprudel de Carlsbad, d'après mon analyse; celles du Kreutzbrunnen et de Ferdinandsquelle à Marienbad, et celles du Franzensbrunnen à Eger, d'après les analyses du professeur Steinmann; enfin, celles de la source de Bilin, d'après l'analyse de M. Reuss. J'ai ajouté aussi les parties constituantes que Klaproth a trouvées dans la source chaude de Reikum en Islande.

| | Sulfate de soude. | Carbonate de soude. | Muriate de soude. | Carbonate de chaux. | Carbonate de magnésie. | Oxide de fer. | Silice. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carlsbad. | 2,587 | 1,262 | 1,038 | 0,308 | 0,179 | 0,0113 | 0,0075 |
| Kreutzbrunnen | 4,965 | 1,336 | 1,766 | 0,513 | 0,354 | 0,0012 | 0,0050 |
| Ferdinandsquelle. | 2,937 | 1,120 | 1,170 | 0,523 | 0,397 | 0,0036 | 0,0087 |
| Franzensbrunnen. | 1,739 | 0,480 | 0,660 | 0,149 | 0,000 | 0,0010 | 0,0034 |
| Source de Bilin | 0,611 | 4,118 | 0,231 | 0,442 | 0,334 | 0,0010 | |
| Mont-Dore | 0,066 | 0,453 | 0,380 | 0,160 | 0,060 | 0,0010 | 0,0010 |
| Saint-Nectaire. | 0,156 | 0,514 | 2,420 | 0,440 | 0,240 | 0,014 | 0,100 |
| Chaudes-Aigues. | 0,034 | 0,514 | 0,125 | 0,060 | 0,010 | trace. | 0,042 |
| Source chaude de Reikum. | 0,170 | 0,100 | 0,290 | ..... | ..... | .... | 0,310 |

On voit que les mêmes parties constituantes se trouvent, quoiqu'en quantités différentes, dans les sources qui proviennent, en Bohême et en France, d'un terrain semblable : cet accord ne peut être l'effet du hasard, puisque des sources chargées de ces élémens et saturées

en même temps d'acide carbonique n'existent que très-rarement, et peut-être jamais dans d'autres contrées. Je crois pouvoir en conclure que leur température élevée, et la nature des substances que leurs eaux renferment, sont liées à l'existence des volcans, dont de grands débris couvrent la terre aux alentours. Des sources contenant de la soude et sursaturées d'acide carbonique seraient, dans ce cas, le dernier symptôme de l'action encore existante des volcans anciens. Quoique nous ne puissions pas regarder cette hypothèse comme parfaitement démontrée, elle a du moins un certain degré de probabilité. Je suis cependant bien éloigné de soutenir que toutes les sources contenant de la soude et quelquefois du fer, et sursaturées d'acide carbonique, doivent avoir la même origine. Pour avoir le droit d'émettre une telle assertion, il faudrait un examen général qui n'est pas encore fait, et qui ne peut pas être exécuté par un seul observateur. Du reste, je suis persuadé qu'une étude exacte des environs de ces sources rendra de plus en plus probables leurs rapports avec les phénomènes volcaniques des temps anciens.

Il reste toujours à expliquer d'où vient la quantité d'acide carbonique dont le dégagement ne peut se faire que peu à peu, puisque, comme on le sait à présent, il n'est changé ni en solide ni en liquide par la pression (1). Nous ne pouvons pas expliquer non plus l'égalité perpé-

---

(1) Des expériences postérieures à la publication du Mémoire de M. Berzelius ont montré que le gaz acide carbonique peut être transformé en liquide par une pression qui n'est pas même très-considérable.

tuelle de la quantité des substances dissoutes dans chacune de ces eaux. On pourrait croire que si les substances solides étaient graduellement enlevées, et l'espace qu'elles occupaient rempli par l'eau, leur quantité dans le liquide dissolvant devrait varier. Nous trouvons cependant que l'eau de Carlsbad n'a pas du tout changé de composition dans les trente-trois années qui se sont écoulées entre l'analyse de Klaproth et la mienne; car les différences de nos résultats ne peuvent être regardées que comme provenant des erreurs des manipulations. Un tel changement est nécessaire, inévitable : mais il ne sera perceptible qu'après plusieurs siècles. La constance de la température est une suite de la lenteur extraordinaire avec laquelle le terrain se refroidit. Becher trouvait, il y a un demi-siècle (1770), 59° Réaumur pour la température du Sprudel, quand il plongeait le thermomètre dans la source même : dans une expérience que nous avons faite, M. le Dr Poschmann et moi, en 1822, nous avons obtenu exactement le même résultat (1). L'eau, peut-être, a été, il y a plusieurs siècles, beaucoup plus chaude, et elle n'est descendue que peu à peu à la température actuelle. L'époque cependant où elle a pu avoir la chaleur de l'eau bouillante doit être très-éloignée. On se baignait au Mont-Dore, où il

(1) Des oscillations dans la température d'une source, comme il faudrait en admettre si le Sprudel n'était, en 1793, qu'à $55\frac{1}{2}$° R., ainsi que l'assure Klaproth, seraient une chose très-singulière. Il est bien desirable qu'on fasse pendant quelques années des observations journalières sur la chaleur du Sprudel.

n'existait, jusqu'en 1819, qu'un seul bain construit déjà du temps de Jules César, dans un courant d'eau provenant de la source, et qui s'écoulait par le bâtiment de pierre. Cette eau est à présent à 43° cent. (38,7 R.) : or, comme cette température est à-peu-près la plus élevée que la plupart des hommes puissent supporter, l'eau ne devait pas être beaucoup plus chaude il y a environ deux mille ans; car on n'aurait pas pu s'en servir sans des appareils particuliers de refroidissement. Si le changement de température n'était que de $\frac{1}{10}$me de degré par siècle, il serait difficile de dire s'il a eu lieu, quoique, à la longue, l'eau finirait par se mettre à la température moyenne de la surface. Du reste, il est évident que si tous ces phénomènes, et la chaleur en particulier, dépendaient de changemens chimiques souterrains encore en activité, on apercevrait quelquefois des variations considérables, suivant que les causes s'affaibliraient ou deviendraient accidentellement plus actives, comme on l'observe dans tous les volcans non éteints.

Plusieurs auteurs allemands parlent des torfmoor-sauerlinge, c'est-à-dire, des eaux chargées de beaucoup d'acide carbonique provenant des couches d'une certaine sorte de tourbe d'où elles sortent. On a pris pour un torfmoor-sauerling l'eau minérale de Marienbad, près de Tepel en Bohême, et le Franzensbrunnen, près Eger. J'avoue qu'on peut rester un moment incertain sur l'exactitude de cette idée, et croire que les choses se passent vraiment ainsi dans la nature, quand on voit, à Marienbad, les sources, à leur sortie d'une couche de tourbe, entraîner en bouillonnant de l'acide carbonique, qui est mêlé d'hydrogène sulfuré, et quand on aperçoit

du soufre déposé sur des morceaux de bois et sur d'autres corps solides qui se trouvent dans la tourbe, dans la masse de cette substance qu'on exploite pour l'usage des bains de limon (Sehlammbader). Mais l'observation des mêmes phénomènes faite dans d'autres sources minérales, montre cependant bientôt que ce n'est qu'une apparence trompeuse. Le Ferdinandsquelle était aussi autrefois environné d'un banc de tourbe dont les bords marécageux permettaient à peine d'en approcher ; mais depuis qu'on l'a entouré d'un nouvel encadrement, sa communication avec les couches de tourbe est interceptée tout autour, et ses filets les plus abondans sortent d'un terrain solide. Malgré cela, l'eau entraîne, dès son origine, de l'acide carbonique mêlé avec une petite quantité d'hydrogène sulfuré, et elle contient même ces gaz en proportion plus grande que lorsque le marais mettait obstacle à son écoulement. Le sol s'est séché et a acquis de la dureté à mesure qu'on a donné à l'eau de la source un écoulement plus libre. Il est évident, d'après cela, que ce n'est pas la couche de tourbe qui a fourni à la source ses parties constituantes; mais, au contraire, que les eaux, ne pouvant pas s'écouler, ont formé cette couche par des phénomènes de putréfaction auxquels elles ont donné lieu. Ainsi ce n'est pas la fermentation perpétuelle qui produit le gaz carbonique et l'hydrogène sulfuré; l'eau carbonique et un peu hépatique se répand dans la tourbe, dont les parties insolubles dégagent les gaz, comme le fait une poudre qu'on jette dans un liquide contenant de l'acide carbonique. Voilà, à mon avis, ce qui arrive dans les nombreuses sources du Franzensbrunnen, à Eger.

On m'objectera peut-être que si la couche de tourbe ne contribue en rien à donner à l'eau ses propriétés, comme il n'y a pas de débris volcaniques dans les environs de Marienbad et du Franzensbrunnen, on n'a non plus aucune raison pour admettre que ces sources sont produites par des volcans des temps anciens (1). Mais quand on pense à la quantité énorme d'eau de même nature qui sort, dans ces lieux, des sources sans encadrement, on se persuade aisément que l'eau météorique nécessaire à leur entretien ne peut pas provenir de localités si circonscrites, et que le canal principal doit venir d'un lieu qui est plus éloigné que les débris volcaniques les plus proches.

Il me reste encore, avant de finir ce chapitre, à dire quelques mots sur une autre classe de sources chaudes, différentes, à plusieurs égards, de celles dont il a été

---

(1) Il y a cependant, dans le voisinage du Franzensbrunnen, une montagne nommée *Kammerbuhl*, que j'ai eu le plaisir de visiter, à la hâte, dans la société du célèbre Gothe, du comte Gaspar Sternberg et du D[r] Pohl. Elle paraît être le cratère d'un volcan éteint, qui n'a eu qu'une seule éruption très-petite durant laquelle les cendres et les scories étaient probablement entraînées dans une direction, pendant qu'une coulée de lave se répandait de l'autre, en sorte que le cratère a pris la forme d'un cône comprimé de deux côtés. Si cette hypothèse était juste, le Kammerbuhl serait peut-être le volcan le plus petit de son espèce; car ses dimensions n'égalent pas celles d'un des tombeaux ancien (Huhnengraber) d'Upsala. Il ne me paraît pas probable cependant que ce volcan insignifiant puisse avoir eu quelque influence sur la formation du Franzensbrunnen, à moins qu'il n'ait été lié à d'autres phénomènes analogues plus importans.

question ; je veux parler des sources un peu chaudes, nullement alcalines, mais un peu salées et quelquefois faiblement hépatiques, qui sortent des terrains granitiques dans lesquels on ne trouve pas de débris volcaniques. Plusieurs sources minérales de France, comme celles de Bagnères, de Barège et de Cauterets ; les eaux minérales de Baden en Suisse, de Bath et de Clifton en Angleterre, sont de cette nature. M. Brongniart attribue leur chaleur à la grande profondeur d'où ces eaux viennent par des canaux souterrains. En admettant l'hypothèse que la terre a une chaleur propre croissante avec la profondeur, ce que paraissent confirmer les observations faites récemment dans les mines, l'explication semble plausible.

*Analyse de la source nommée* le Kalte-Sauerling, *à Carlsbad.*

(M. Berzelius a analysé ces eaux par la méthode précédemment décrite, et dont il s'est servi dans l'examen de celles de Carlsbad. Nous nous contenterons donc de rapporter le résultat). Sur 1000 parties en poids, l'eau contient :

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude........ | 0,019 ; |
| Carbonate de soude..... | 0,015 ; |
| Muriate de soude....... | 0,010 ; |
| Carbonate de chaux..... | 0,024 ; |
| Carbonate de magnésie.. | 0,013 ; |
| Carbonate de manganèse. | 0,002 ; |
| Carbonate de fer........ } Fluate de chaux ?...... } Phosphate d'alumine.... } | 0,004 ; |
| Silice................ | 0,047 ; |
| Extrait de l'humus...... | 0,008. |

Il est remarquable, dit M. Berzelius, que la silice forme, elle seule, le tiers de la masse solide qui reste après l'évaporation de l'eau..... Je n'ai pas examiné la quantité d'acide carbonique. L'eau sort de la terre saturée de ce gaz, et devait par conséquent en contenir un volume égal, ou, d'après M. de Saussure, 1,06.

### *Analyse de la source chaude* du Steinbad, *à Teplitz.*

Il y a une grande quantité de sources tièdes dans l'intérieur et dans les environs de la petite ville de Teplitz. On les emploie depuis long-temps (à ce qu'il paraît, depuis plus de mille ans) à alimenter des établissemens de bains. Elles ont été analysées, dans les dernières années du siècle passé, par le Dr Ambrozzi, qui a trouvé qu'elles contenaient, sur 1000 parties en poids :

| | |
|---|---|
| Sulfate de soude..... | 0,177 p. |
| Carbonate de soude... | 1,583 |
| Muriate de soude.... | 0,221 |
| Carbonate de chaux... | 0,091 |
| Silice............... | 0,054 |
| Oxide de fer......... | 0,005 |
| Extractif............ | 0,006. |

Lorsque je passai, l'été dernier, par Teplitz, je remplis une bouteille de l'eau du Steinbad, situé dans le village de Schonau, et je la gardai avec les précautions nécessaires, afin de pouvoir la comparer avec les eaux

de Carlsbad. 767 gr. de cette eau laissèrent par l'évaporation, une masse de sel un peu grisâtre, qui contenait une trace de l'extrait de l'humus. J'échauffai la masse sèche sur une lampe à esprit-de-vin, presque jusqu'à une chaleur rouge, et je comparai son poids avec le poids du résidu des eaux de Carlsbad également chauffé. Il pesa 0,456 gr. ; ce qui donne sur 1000 parties en poids de l'eau, 0,595.

Les sels de cette masse que l'eau dissolvit pesèrent, après avoir été évaporés et séchés, 1,37 gr. Je choisis, pour les analyser, la méthode suivante à cause de la présence de la magnésie.. Je saturai le sel avec de l'acide acétique, je le séchai et je le fis dissoudre de nouveau dans l'eau : il resta 0,007 gr. de silice. La dissolution laissa alors, après avoir été séchée et après avoir dissous le résidu, 0,002 gr. de magnésie. Saturée avec de l'acide nitrique et précipitée avec des sels de baryte et d'argent, la dissolution fournit 0,088 gr. de sulfate de baryte et 0,101 gr. de muriate d'argent : le liquide qui restait donna par l'ammoniaque caustique, après vingt-quatre heures, un précipité floconneux qui pesa 0,003 gr., et que je reconnus pour du phosphate de baryte, à ce caractère qu'éprouvé au chalumeau, il donna du phosphure de fer : ce précipité correspondait à 0,0015 gr. de phosphate de soude. Le liquide restant fut précipité par l'acide muriatique, évaporé à siccité, et le résidu fut redissous de nouveau dans l'eau. Je traitai cette nouvelle dissolution avec le carbonate d'ammoniaque pour en séparer la baryte ; je la mêlai avec une solution de muriate d'ammoniaque pour détruire tout l'acide nitrique, en chauffant et en faisant rougir la masse, et

pour n'avoir que des muriates. Je réussis parfaitement. Le sel sec que j'obtins fut dissous dans l'eau, la dissolution fut mêlée avec le muriate de soude et de platine, et séchée. Je fis dissoudre alors la masse sèche dans l'alcool de 0,85 de pesanteur spécifique; il resta un résidu de 0,031 gr. de muriate de potasse et de platine, qui est insoluble dans l'alcool, et qui correspond à 0,0076 gr. de sulfate de potasse, puisque le sel double contient 17,53 p. c. de potasse.

Les terres insolubles furent analysées par le procédé que j'ai suivi à Carlsbad : je m'abstiens donc de le décrire de nouveau, et je rapporte seulement le résultat.

767 gr. de l'eau de Steinbad contiennent :

| | |
|---|---|
| Sulfate de potasse... | 0,0076; |
| Sulfate de soude..... | 0,0500; |
| Muriate de soude.... | 0,0420; |
| Carbonate de soude.. | 0,2650; |
| Phosphate de soude.. | 0,0015; |
| Carbonate de chaux.. | 0,0500; |
| Magnésie pure...... | 0,0140; |
| Oxide de fer....... | 0,0020; |
| Silice............. | 0,0320. |

Ce que j'ai nommé de l'oxide de fer contient encore de l'acide phosphorique et de l'alumine, mais la proportion de ces substances n'a pas pu être déterminée avec exactitude. Il a été également impossible de découvrir dans cette eau la présence de l'acide fluorique : j'en avais une trop petite quantité. La chaux, aussi-bien que la

magnésie, contenaient des traces d'oxide de manganèse. Je n'apercevais pas d'indice de strontiane quand je faisais dissoudre la chaux, combinée avec l'acide nitrique dans l'alcool : cependant j'opérais sur de trop petites quantités, pour qu'il me soit permis d'affirmer avec certitude qu'il n'existe pas de strontiane dans les eaux de Teplitz.

Si l'on calcule la quantité des parties constituantes de ces eaux sur 1000 parties en poids, on trouvera, en ajoutant à la magnésie l'acide carbonique qu'elle contient, le résultat suivant :

| | |
|---|---|
| Sulfate de potasse ......... | 0,001 ; |
| Sulfate de soude ........... | 0,071 ; |
| Muriate de soude .......... | 0,055 ; |
| Carbonate de soude ........ | 0,348 ; |
| Phosphate de soude ........ | 0,002 ; |
| Carbonate de chaux ........ | 0,063 ; |
| Carbonate de magnésie ..... | 0,037 ; |
| Oxide de fer .............. / Sous-phosphate d'alumine ... | 0,003 ; |
| Silice .................... | 0,042. |

La différence de ces résultats et de ceux que le Dr Ambrozzi a obtenus, dépend en partie de ce qu'il a représenté ces sels comme étant combinés avec l'eau de cristallisation ; mais alors même qu'on aurait égard à cette circonstance, le Dr Ambrozzi aurait toujours eu un résidu de parties solides deux fois plus grand que moi. La quantité des parties solides dans les eaux de Teplitz

a-t-elle diminué dans les vingt-cinq dernières années ? Cette quantité est-elle variable suivant que le temps est plus ou moins sec ? Ou bien encore, la différence tient-elle uniquement à des erreurs de manipulation ? C'est ce que je ne saurais décider.

*Analyse des eaux minérales de Konigswart.*

Ces eaux minérales n'ont pas encore été analysées, à ce que je crois. Elles proviennent d'un point assez élevé, situé sur le penchant de la montagne où la petite ville et le château de Konigswart ont été bâtis. Par les soins du propriétaire actuel, le prince de Metternich, deux sources sont recueillies dans des bassins séparés; l'une, la Trinkquelle, doit être employée comme source à boire; l'autre, la Badequelle, alimentera un bain qu'on a le projet d'établir. Les deux sources sont l'une auprès de l'autre. Leur température est celle de l'endroit. Une troisième source minérale, nommée *le Schiersauerling*, beaucoup moins riche en parties solides, sort de la terre, à quelque distance des deux premières : la contrée, au-dessous des sources, principalement au-dessous du Schiersauerling, est couverte d'une couche de tourbe analogue à celle qui se forme ordinairement dans les localités où se trouve une eau alcaline contenant de l'acide carbonique.

(M. Berzelius a fait l'analyse de eaux de Konigswart par le procédé qu'il a décrit à l'article relatif aux eaux de Carlsbad. Nous pouvons donc nous contenter de rapporter les résultats. Nous signalerons toutefois ici les différences, qui consistent principalement dans la pré-

sence de la potasse; dans une proportion plus considérable de manganèse, et, à ce qui paraît, dans l'absence totale de l'acide fluorique, et de tout autre phosphate que celui d'alumine).

*Résultat de l'analyse de la source la Trinkquelle.*

1000 parties en poids de l'eau contiennent 0,7103 parties solides. La magnésie se trouve ici dans la même proportion, relativement à la chaux, que dans les eaux de Carlsbad et de Teplitz. Si on calcule l'acide carbonique de la magnésie, du protoxide de manganèse et du fer; et si on ajoute 0,0205 gr. pour l'extrait de l'humus, comme je l'ai trouvé, dans un essai particulier, en pesant le sel avant de l'avoir rougi, on obtient les résultats suivans :

| | |
|---|---|
| Sulfate de potasse | 0,0116; |
| Muriate de potasse | 0,0081; |
| Muriate de soude | 0,0061; |
| Carbonate de soude | 0,0577; |
| Carbonate de chaux | 0,4216; |
| Carbonate de strontiane | 0,0007; |
| Carbonate de magnésie | 0,2120; |
| Sous-phosphate d'alumine | 0,0026; |
| Carbonate de manganèse | 0,0070; |
| Carbonate de fer | 0,0561; |
| Silice | 0,0850; |
| Extrait de l'humus | 0,0205. |

*Résultat de l'analyse de la Badequelle.*

(La source à baigner contient, à volume égal, la moitié seulement des parties solides que renferme la source à boire. Si on ajoute à la magnésie et aux oxides de fer et de manganèse, l'acide carbonique qui est combiné avec ces corps, on a, sur 1000 parties en poids de l'eau) :

| | |
|---|---|
| Sulfate de potasse......... | 0,0071 ; |
| Muriate de potasse......... | 0,0015 ; |
| Sulfate de soude........... | 0,0036 ; |
| Carbonate de soude......... | 0,0252 ; |
| Carbonate de chaux......... | 0,2070 ; |
| Carbonate de strontiane.... | 0,0003 ; |
| Carbonate de magnésie...... | 0,0989 ; |
| Sous-phosphate d'alumine... | 0,0014 ; |
| Carbonate de manganèse... | 0,0070 ; |
| Carbonate de fer........... | 0,04[illegible]6 ; |
| Silice..................... | 0,0638 ; |
| Extrait de l'humus......... | 0,0057. |

(Quant à ce qui concerne la quantité d'acide carbonique que l'eau contient, M. Berzelius n'a pas eu l'occasion de la déterminer. Les essais doivent être faits à l'endroit même; mais puisque le gaz se dégage toujours, il est clair que l'eau en doit être saturée à sa température et à la pression ordinaire de l'air. Elle donnera donc, si on la met en ébullition, un volume d'acide carbonique égal à celui de l'eau, et elle donnera de plus l'acide qui change les carbonates en bi-carbonates).

*Résultat de l'analyse du Schiersauerling.*

(Si on ajoute à la magnésie et aux oxides métalliques l'acide carbonique qui est combiné avec eux, on obtient, sur 1000 parties en poids de cette eau) :

| | |
|---|---|
| Sulfate de potasse........... | 0,0032 ; |
| Muriate de potasse.......... | 0,0021 ; |
| Muriate de soude........... | 0,0043 ; |
| Carbonate de soude.......... | 0,0121 ; |
| Carbonate de chaux.......... | 0,0561 ; |
| Carbonate de magnésie........ | 0,0316 ; |
| Sous-phosphate d'alumine.... } Oxide de fer............... } | 0,0022 ; |
| Carbonate de manganèse...... | 0,0027 ; |
| Silice....................... | 0,0387. |
| Trace de l'extrait de l'humus... | |

*Analyse de quelques substances qui se précipitent des eaux minérales de l'Auvergne.*

Lorsque j'eus découvert du fluate et du phosphate de chaux dans les eaux de Carlsbad, il me parut probable que ces substances se trouveraient aussi dans les eaux minérales de l'Auvergne. En 1819, M. Bertrand, médecin des bains du Mont-Dore, avait eu la bonté de me communiquer les résultats des analyses qu'il a faites des eaux minérales de cette contrée. Au nombre des parties constituantes figurait l'alumine. Ayant objecté que la présence de l'alumine dans ces eaux n'était pas très-probable, M. Bertrand répondit qu'il y avait un moyen

facile de s'en convaincre, et que c'était d'analyser l'ocre du bain de César. Je recueillis en conséquence alors une petite quantité de cette ocre. Mais j'avais négligé de l'examiner, jusqu'à ce que de nouvelles recherches ramenèrent mon attention sur cet objet. M. Berthier a analysé depuis cette matière (1), et il l'a trouvée composée de 11,6 de silice, de 61,5 gr. d'oxide de fer, de 24,4 gr. d'eau et 2,5 gr. de carbonate de chaux. J'ai traité moi-même l'ocre avec de l'acide sulfurique, mais je n'ai pu découvrir aucune trace d'acide fluorique. L'acide sulfurique s'étant combiné aux parties de l'ocre, elles furent dissoutes dans l'eau, et la silice fut séparée. Le liquide ayant été sur-saturé avec de la potasse caustique, je le filtrai et je saturai la potasse avec l'acide muriatique. Le carbonate d'ammoniaque précipita alors de l'alumine, que le chalumeau fit reconnaître pour du sous-phosphate d'alumine. Le carbonate d'ammoniaque avait été mis en excès; après une ébullition suffisante, le liquide fut mêlé avec de l'ammoniaque caustique, et on ajouta du muriate de chaux tant qu'il se fit un précipité. L'ocre du bain de César doit être considérée, par conséquent, comme un mélange d'hydrate de fer, de silicate de peroxide de fer, et de sous-phosphate de peroxide de fer : ces deux derniers corps sont combinés avec de l'eau. Les eaux du Mont-Dore contiennent donc aussi de l'acide phosphorique.

Les eaux de St-Allyre, près de Clermont en Auvergne, renferment également de l'acide phosphorique, et paraissent être exemptes d'acide fluorique. Dans le canal

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIX, p. 30.

par lequel le liquide s'écoulait, il se forma un dépôt calcaire qui, par des accroissemens successifs, devint une muraille de pierre énorme, sur le dos de laquelle l'eau se répandit et s'écoula. Cette muraille a reçu le nom du *pont naturel de St-Allyre*, parce que, en augmentant toujours, elle a atteint les bords d'une rivière, s'est accrue peu à peu au-dessus d'elle, et est enfin parvenue de l'autre côté. On a dû seulement élargir l'ouverture pour donner passage aux eaux du printemps.

J'ai réduit en poudre un petit morceau de cette muraille naturelle et je l'ai décomposé par l'acide muriatique; la dissolution, pendant l'évaporation, a passé à l'état de gelée et a donné 6,8 p. c. de silice. Ayant précipité la dissolution avec de l'ammoniaque caustique, j'ai obtenu une substance jaune-grise, qui est devenue brune quand je l'ai fait rougir au feu, et qui formait 0,52 p. c. du poids total. L'acide sulfurique ne m'a pas fait découvrir les moindres traces d'acide fluorique. A l'aide de la chaux caustique, j'en ai tiré du phosphate d'alumine. Ce muriate de chaux et l'ammoniaque précipitèrent ensuite une grande quantité de phosphate de chaux. Ce qui était insoluble dans la potasse caustique avait tout-à-fait l'aspect de l'oxide de fer. Je le dissolvis dans l'acide muriatique, et je neutralisai presque complètement, d'après la méthode de Herschel, avec le carbonate d'un alcali; l'ébullition sépara le fer; la dissolution donna alors avec l'ammoniaque caustique un précipité blanc, que j'eus d'abord de la peine à reconnaître. Il se fondit au chalumeau, se colora partiellement et indiqua la présence du phosphore. Le carbonate d'ammoniaque le dissolvit en partie, mais il se

précipita de nouveau par l'évaporation de l'alcali. En le chauffant avec la potasse caustique, il fut décomposé; aussitôt que le liquide commença à bouillir, la masse se colora, et il se forma de l'oxide de manganèse par l'oxigène de l'air, pendant que l'acide phosphorique se combinait avec l'alcali. Je trouvai de cette manière que ce précipité consistait en phosphate de protoxide de manganèse, en phosphate de chaux et en phosphate de magnésie.

Les phosphates dissous dans l'acide muriatique furent précipités par l'oxalate d'ammoniaque. Le liquide restant donna alors avec le sous-phosphate d'ammoniaque, le phosphate d'ammoniaque et de magnésie, qui pesa, après avoir été rougi, 1,8 p. c., et qui contenait dès-lors 0,66 p. c. de magnésie.

Le carbonate de chaux fut dissous dans l'acide nitrique; évaporé ensuite à siccité et dissous dans de l'alcool de 0,793 de pesanteur spécifique, il y eut un résidu blanchâtre dans lequel je ne pus pas cependant découvrir des traces distinctes de strontiane.

Je crois, malgré ces essais, que les eaux de l'Auvergne contiennent du carbonate de strontiane, et cela parce que M. Berthier dit, dans son analyse des *eaux de Saint-Nectaire*, que la chaux qui se dépose de ces sources est toujours cristalline et fibreuse (1) : ce que je regarde comme une preuve de la texture arragonitique de ce tuf calcaire.

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIX, p. 134.

# Analyse des Séances de l'Académie royale des Sciences.

*Supplément à l'Extrait que nous avons donné dans le précédent Cahier de la séance du 21 février.*

## Rapport *sur le Mémoire de M.* Lamouroux *intitulé :* De la Géographie botanique marine.

(Commissaires, MM. Desfontaines et Mirbel.)

La distribution des diverses races de plantes sur le globe a été depuis vingt ans l'objet des recherches et des méditations de plusieurs savans, parmi lesquels on doit citer en première ligne MM. de Humboldt, Ramond, Wahlenberg, Robert Brown, Decandolle, Léopold de Buch, etc. Le sujet était trop vaste pour qu'on pût l'embrasser tout d'un coup dans son ensemble et dans ses détails. L'attention se porta d'abord sur les végétaux terrestres phanérogames : cette priorité leur était due. Nous vivons, pour ainsi dire, en société avec eux; nous avons à tout instant besoin d'eux; nous les connaissons mieux, parceque nous nous en sommes plus occupés et qu'il est plus facile de les connaître; leurs organes ont, jusqu'à un certain point, des fonctions distinctes et bien déterminées : il est rare que ces organes offrent dans leurs formes, d'ailleurs très-variées, des anomalies assez graves pour faire perdre totalement la trace des analogies; enfin, nous ne sommes pas tout-à-fait ignorans des moyens que la nature a donnés à ces végétaux pour se conserver et se propager. Dans les cryptogames ou agames (le nom n'importe guère ici), tout,

au contraire, est mis en question : l'origine est presque toujours obscure; les formes sont souvent si étranges, si variées que les rapprochemens deviennent impossibles ; les fonctions sont si incertaines que chacun en parle à sa guise, et qu'il y a presque autant d'opinions que d'observateurs : aussi arrive-t-il de temps en temps que les botanistes, n'ayant sous les yeux que des caractères vagues et fugaces, ne savent à quels signes reconnaître l'espèce, le genre et même la famille des individus qu'ils étudient : cependant ces difficultés ne sont pas un motif suffisant pour les rebuter. Tous sentent la nécessité de compléter autant qu'il est possible, dans l'état présent de la science, l'histoire géographique des végétaux.

M. Lamouroux a entrepris de nous donner celle des plantes agames qui croissent dans la mer, ou, comme il les nomme, des *hydrophytes marines*. Ce travail, absolument neuf, a été soumis au jugement de l'Académie, qui l'a renvoyé à notre examen et nous a chargés de lui en faire connaître notre opinion motivée.

Personne peut-être n'était plus en état que M. Lamouroux de bien traiter ce sujet. Depuis long-temps il s'occupe avec un zèle infatigable des hydrophytes, dont il étudie non-seulement les formes extérieures, mais aussi l'organisation interne et les habitudes. Il a subdivisé cette classe de végétaux en cinq familles, savoir : les *fucacées*, les *floridées*, les *dictyotées*, les *ulvacées* et les *conferves*. Ce n'est pas ici le lieu d'examiner si toutes ces familles sont également naturelles, et si l'auteur n'eût pas mieux fait, comme le croient plusieurs botanistes, de laisser dans un seul groupe, à l'exemple de

ses devanciers ; les *dictyotées*, les *floridées* et les *fucacées* ; il nous suffira de faire remarquer que les divisions qu'il a admises sont une preuve de la grande importance qu'il attache à l'étude de tous les caractères.

Nous allons donner un exposé rapide des principales considérations que présente son Mémoire.

Les lois que la nature a établies pour la distribution des hydrophytes marines sont, à peu de chose près, les mêmes que celles qui président à la distribution des aérophytes, c'est-à-dire, des végétaux dont la constitution exige le contact habituel de l'air.

Il est reconnu qu'en général les aérophytes du Nouveau-Monde sont différentes de celles de l'Ancien. Les hydrophytes de l'Amérique méridionale diffèrent également de celles de l'Europe et de l'Afrique. Cette loi ne souffre d'exception que pour un petit nombre d'espèces de la famille des ulvacées.

Les grandes contrées de chaque continent ont aussi des végétaux qui leur sont propres, et qui forment, comme dit M. Lamouroux, des systèmes particuliers de végétation. Même loi pour les côtes qui nourrissent des hydrophytes. L'Océan Atlantique, depuis le pôle boréal jusqu'au 40e degré de latitude nord ; la mer des Antilles, y compris le golfe du Mexique ; les côtes orientales de l'Amérique du Sud, de l'Océan indien et de la Nouvelle-Hollande ; la Méditerranée et les mers intérieures avec lesquelles elle communique ; la mer Rouge, les côtes occidentales de l'Amérique et l'Océan magellanique offrent autant de grandes régions marines qui ont chacune une végétation particulière.

Certaines familles d'aérophytes dominent dans des contrées qui sont pour elles des *résidences de premier ordre*. Si l'on s'éloigne des centres de résidence, quelle que soit la direction qu'on prenne, on voit disparaître successivement les espèces appartenant à ces familles, et, à une distance plus ou moins considérable, on n'en rencontre plus aucune. Il est évident que cette sorte de rayonnement ne peut avoir lieu pour les hydrophytes marines, puisqu'elles sont attachées aux côtes et qu'elles en dessinent toutes les sinuosités; mais elles présentent, autant que le permettent les conditions sous l'empire desquelles elles existent, une tendance analogue à celles des familles d'aérophytes dont nous venons de parler. Ainsi une forme végétale, dominante sur une côte, s'efface de plus en plus à mesure qu'elle s'en éloigne, et finit par céder la place à telle autre forme qui paraissait à peine à son point de départ, et qui s'éclipsera plus loin.

Plusieurs obstacles s'opposent à la fois à l'émigration des aérophytes et des hydrophytes, les retiennent dans des limites déterminées, et empêchent le mélange des races et l'uniformité de végétation qui en serait la conséquence immédiate. Telles sont les qualités particulières du sol, les mers qui séparent les continens, et surtout l'élévation ou l'abaissement de la température. Il existe encore d'autres obstacles qui concourent au même résultat; mais parmi ceux-ci les uns ne se rapportent qu'aux aérophytes, et les autres qu'aux hydrophytes: tels sont, pour les premières, les hautes chaînes de montagnes, les vastes déserts de sable, les grands fleuves; tels sont, pour les secondes, les continens, les caps avancés, les

courans généraux et constans, les énormes amas d'eau douce qui s'épanchent dans la mer.

Il arrive cépendant que les mêmes espèces, en petit nombre à la vérité, se reproduisent dans des contrées fort éloignées les unes des autres. On trouve, au Cap de Bonne-Espérance et à la Nouvelle-Hollande, quelques aérophytes des régions boréales; on trouve sur les côtes de Van-Diemen des hydrophytes qui appartiennent aux côtes de la France; mais rien n'indique que ces plantes, ou terrestres ou marines, aient été transportées à travers tant de climats divers, du midi au nord ou du nord au midi; et tout, au contraire, semble prouver, sinon pour la totalité des espèces, du moins pour plusieurs, qu'elles sont indigènes dans les deux hémisphères.

La station des végétaux est, comme l'on sait, le siége ou localité que choisissent les diverses espèces dans les contrées où elles croissent spontanément. Ce qu'il faut considérer surtout pour prendre une idée juste de la station, c'est l'exposition, la nature et l'élévation du sol. Ces circonstances ne doivent pas être omises dans l'histoire de la distribution géographique des végétaux. Il y a des races pour lesquelles elles sont des conditions d'existence, et, pour presque toutes, elles sont des conditions de santé et de vigueur. Les hydrophytes en éprouvent la nécessité ou le bienfait aussi vivement que les aérophytes. M. Lamouroux remarque que certaines espèces de plantes marines s'établissent constamment dans les lieux que la marée couvre et découvre chaque jour; d'autres, dans ceux que la marée ne découvre qu'aux syzygies; d'autres, dans ceux que la

marée ne découvre qu'aux équinoxes ; d'autres, dans ceux qui sont toujours cachés sous la mer. Il remarque que certaines espèces ne végètent que sur les roches calcaires ; que d'autres préfèrent les roches quarzeuses ou granitiques ; que d'autres se tiennent sur la vase ou sur le sable. Il affirme que la différence n'est pas moindre entre les hydrophytes soumises alternativement au contact de l'air et de l'eau de la mer, et celles qui peuplent les abîmes de l'Océan, qu'entre les aérophytes des marais et celles qui végètent dans les sables brûlans de l'Afrique.

Quelquefois, dans une même espèce, un grand nombre d'individus vivent rapprochés en société, tandis que d'autres individus sont disséminés à distance les uns des autres. M. Lamouroux observe que ce phénomène, qui se rattache aux lois de la station des végétaux, se manifeste aussi clairement dans les hydrophytes que dans les aérophytes.

Nous ne suivrons pas l'auteur dans le développement de tous les faits que contient son Mémoire, non qu'ils ne soient très-intéressans, mais parce que nous dépasserions les bornes que nous devons mettre à ce rapport. Nous terminons par quelques généralités que nous transcrivons textuellement.

« On pourrait presque, dit M. Lamouroux, regarder
» la zone polaire comme la patrie des ulvacées, la zone
» tempérée comme la patrie des floridées, la zone voi-
» sine des deux tropiques, ainsi que l'équatoriale,
» comme celle des fucacées et des dictyotées.

» Les hydrophytes que la même saison voit naître
» et mourir, ou qui, par leur nature, sont peu sensibles

» au froid, se plaisent dans la zone polaire; les hydro-
» phytes les plus ligneuses se plaisent entre les tro-
» piques. . . . . . . . . . . . . . . . . .

» Il semble, continue-t-il, que le *maximum* des gen-
» res et même des espèces doit se trouver dans la zone
» tempérée, patrie adoptive des hydrophytes annuelles
» et bisannuelles. » . . . . . . . . . .

L'auteur s'exprime, comme on vient de l'entendre, avec beaucoup de réserve; il ne veut rien affirmer, en quoi il se montre très-judicieux puisqu'il déclare lui-même qu'on ne connaît jusqu'à ce jour qu'environ 1600 espèces d'hydrophytes; que sur ces 1600 espèces, 1200 seulement ont passé sous ses yeux, et qu'il a trouvé, par un calcul approximatif, que le nombre des espèces existantes doit être au moins de 6000. En adoptant cette base, il suit que son travail n'embrasse que la cinquième partie des faits dont l'examen eût été indispensable pour le conduire à des résultats rigoureux. Mais s'il faut avouer qu'il ne pouvait atteindre à un haut degré d'exactitude que par la connaissance de tous les faits particuliers, il est juste de dire aussi que, ayant déjà en sa possession un bon nombre de données positives, et usant avec sagacité et prudence du secours de l'analogie pour suppléer aux documens qui lui manquaient, il a pu croire, sans trop de présomption, qu'il posait les premières bases d'une théorie que de nouvelles découvertes modifieraient sans doute, mais ne ruineraient jamais de fond en comble.

Loin de blâmer sa précipitation, nous y applaudissons; elle sera utile aux progrès de la science. Il donne la mesure de ce qu'il faut conquérir en marquant les limites

de ce que l'on possède. C'est exciter et diriger à la fois l'ardeur des botanistes.

Il eût été à desirer qu'à la suite de son Mémoire il donnât la nomenclature complète des espèces qu'il a examinées, et qu'il y joignît de courtes notes sur l'habitation et la station de chacune d'elles. Par là, il eût ajouté à l'importance de son travail sans qu'il lui en eût coûté la moindre peine, puisque la nomenclature et les notes, que nous regrettons de ne pouvoir consulter, sont des élémens qu'il n'a pu se dispenser de rassembler et de coordonner avant de prendre la plume. Il ferait bien, ce nous semble, de réparer cette omission quand il publiera sa *Géographie des Hydrophytes marines*, dont nous demanderions l'insertion dans le *Recueil de l'Académie*, si nous n'étions informés qu'elle doit paraître incessamment dans le *Dictionnaire classique d'Histoire naturelle*.

Nous pensons que ce nouveau travail de M. Lamouroux est digne des éloges de l'Académie.

*Séance du lundi* 14 *mars* 1825.

M. Brisson, inspecteur-divisionnaire des Ponts et Chaussées, écrit pour rappeler qu'il a soumis depuis long-temps au jugement de l'Académie, un Mémoire d'analyse, dont les commissaires désignés n'ont pas encore rendu compte.

M. Déyeux fait un rapport sur les moyens que M. Opoix a proposés pour conserver le beurre frais. Ces moyens ne sont ni neufs ni efficaces.

M. Mathieu rend compte d'un travail sur la perspective et ses applications au lever du terrain, et aux recon-

naissances militaires, que M. Boscary, officier d'artillerie, avait présenté dans le mois de décembre. L'auteur sera engagé à continuer des recherches dont il s'est déjà occupé avec beaucoup de zèle.

M. de Humboldt achève la lecture de son Mémoire *sur quelques phénomènes physiques qu'offrent la Cordilière des Andes de Quito et la partie orientale de l'Himalaya.*

M. Cuvier lit un Mémoire *sur le Myripristis*, nouveau genre de poisson de la famille des perches, remarquable par la connexion de la vessie natatoire et de son oreille.

M. Auzoux présente une pièce d'anatomie artificielle.

M. Babinet lit un Mémoire dont l'objet est d'exposer une nouvelle méthode propre, suivant lui, à faire connaître les masses des planètes.

*Séance du lundi 21 mars.*

L'Académie reçoit les ouvrages manuscrits suivans : *Mémoire sur la Composition de nouveaux mortiers hydrauliques, et sur la Théorie générale des mortiers*, par M. Girard, ingénieur des Ponts et Chaussées; *Traité du Calcul hyper-archisophique et du Calcul olo-palingène*, par un anonyme ; *Nouvelle Classification du règne animal*, par M. Lamouroux.

M. de Humboldt présente une nouvelle section verticale du sud de l'Allemagne et de la France, depuis la Forêt Noire jusqu'à Paris, fondée sur un nivellement barométrique de MM. d'Ogelausen, La Roche et Decheux, ingénieurs du Corps des Mines de Prusse.

M. Cauchy fait un rapport sur un Mémoire de M. Brisson, intitulé : *Nouvelles Recherches relatives au calcul intégral des différences partielles*. Les conclusions de ce rapport ne sont pas adoptées par l'Académie.

M. Cuvier lit un Mémoire *sur des Poissons d'eau douce de l'Inde, qui ont la faculté de vivre long-temps hors de l'eau, et sur les organes qui leur procurent cette faculté.*

L'Académie, sur l'avis affirmatif de la Section de Médecine et de Chirurgie, décide qu'il y a lieu à procéder au remplacement de M. Percy.

M. Guillemain lit un Mémoire *sur le Pollen des plantes, et sur la Génération des végétaux.*

*Séance du lundi 28 mars.*

M. de Humboldt présente à l'Académie, au nom de MM. Noggera et Bischof, un échantillon d'une masse de fer météorique pesant 3400 livres, trouvée au haut d'une colline, à Bitburg, près de Trèves. Cette masse renferme du nickel et du soufre; mais on n'y a découvert ni chrôme ni carbone.

M. Geoffroy-Saint-Hilaire met sous les yeux de l'Académie la tête d'un poulain monstrueux, né deux jours auparavant, à l'Ecole royale d'Alfort.

M. Gaudin adresse, de Nantes, un Mémoire *sur la Nature des quantités négatives.*

M. Traullé lit un Aperçu *sur le Déluge, sur ses conséquences, sur la cause qui l'a produit, et sur la présence, dans le nord des deux continens, des ossemens des animaux du Midi.*

La Section de Médecine et de Chirurgie présente, en comité secret, la liste suivante de candidats pour la place vacante dans son sein :

MM. Larrey; Richerand et Roux sur la même ligne; Dupuytren, Jules Cloquet, Alibert, Serres, Desgenettes.

---

## Précis *d'une Application de la théorie électro-chimique aux phénomènes chimiques.*

Par M. Ferré, Elève en Médecine.

Les différentes recherches sur l'influence chimique de l'électricité ont considérablement augmenté depuis quelques années la masse de faits qui tendent à prouver qu'elle est l'agent essentiel de la combinaison des corps. Des savans célèbres ont, dans cette hypothèse, cherché, par des vues spéculatives ingénieuses, à rapporter au jeu seul des forces électriques la source des actions chimiques; mais on a jusqu'ici trop négligé peut-être un moyen efficace pour soumettre à l'épreuve la réalité des suppositions que ce sujet important a fait naître : c'est d'en suivre les conséquences, c'est-à-dire, de rechercher, en les appliquant aux phénomènes chimiques connus, si les résultats qu'on déduirait d'après elles s'accordent avec ceux donnés par l'observation. C'est là l'objet de cet article. Mais avant d'entreprendre l'esquisse rapide de ce genre d'application, je suis forcé de rappeler les idées fondamentales qui constituent, à proprement parler, la théorie électro-chimique.

On considère, comme on sait, dans cette théorie, les molécules de chacun des élémens d'une combinaison qui s'effectue comme douées d'une électricité de nature contraire à celle des molécules de l'autre, et leur réunion est censée résulter de l'attraction des deux électricités. Le composé qui se forme est dès-lors neutre si les deux états électriques opposés, égaux en intensité, se dissimulent mutuellement; il est acide ou alcalin, suivant que, leur intensité étant inégale, l'excès d'électricité est négatif ou positif.

Mais en admettant dans les forces électriques la source de l'attraction dont résultent les combinaisons, il faut supposer, pour que l'union des molécules soit permanente, qu'elles restent électrisées même après qu'elles sont combinées, et qu'ainsi les deux électricités fixées à ces particules ne peuvent les abandonner pour se réunir et se neutraliser. On ne pourrait concevoir, d'ailleurs, sans cela, comment elles quitteraient leur combinaison pour faire partie d'une autre, puisqu'en perdant leur état électrique dans la première, elles auraient perdu en même temps toute propension à entrer dans une seconde.

Telles sont les bases sur lesquelles repose la théorie électro-chimique. On va voir maintenant, dans l'action des acides et des alcalis sur l'eau et les autres corps, un exemple du genre d'application que nous avons en vue.

### *Action des acides et des alcalis sur l'eau.*

Ce liquide, se combinant avec la même facilité avec ces deux genres de corps doués de propriétés électriques contraires, qu'il ne neutralise jamais, quelle que soit sa

quantité, est évidemment un composé neutre, et n'a en conséquence par lui-même aucune tendance à s'unir aux autres corps. Puisque cependant il se combine avec un grand nombre d'entr'eux, il faut que, par leur action, il puisse prendre de l'électricité tantôt positive, tantôt négative, sans quoi la combinaison ne pourrait s'effectuer, dans la suppostion où l'électricité serait la cause de l'affinité. Ses molécules intégrantes n'en présentant d'aucune espèce; la source n'en peut provenir que de ses élémens : c'est donc sur les deux électricités qui tiennent leurs molécules réunies que s'exerce l'action des corps qui se dissolvent dans l'eau. Ainsi, quand on met un acide en contact avec elle, par son électricité négative il doit attirer celui de ses principes constituans électrisé positivement ou l'hydrogène, et repousser celui qui l'est négativement ou l'oxigène. Celui-ci, dont une partie de l'électricité est devenue libre par la répulsion, a nécessairement acquis de la tendance à entrer dans d'autres combinaisons : il doit donc être plus facile aux corps qui ont de l'affinité pour lui de l'enlever, dans cet état, à l'hydrogène : l'observation le confirme. On sait que plusieurs métaux qui seuls ne peuvent décomposer l'eau pour s'oxider, la décomposent avec rapidité par l'intermède des acides un peu énergiques.

Des effets inverses se présentent après sa combinaison avec les alcalis, qui, électrisés positivement, attirent l'oxigène et repoussent l'hydrogène : c'est alors celui-ci, dont une partie de l'électricité devient libre et qui tend à abandonner le premier. Aussi se combine-t-il, par leur intermède, avec le chlore, l'iode, qui seuls ne peuvent le soustraire de sa combinaison avec l'oxi-

gène, du moins les conditions physiques étant les mêmes.

Il est, je crois, impossible, dans la théorie chimique actuelle, d'expliquer d'une manière rationnelle l'influence des acides et des alcalis sur la décomposition de l'eau, dans les cas dont nous venons de parler. Ce serait une erreur de l'attribuer à leur affinité pour les oxides ou les acides qui doivent se former; car, en supposant inhérente aux molécules la force qui tend à les combiner, on est forcé d'admettre qu'elle ne s'exerce que quand elles sont formées, si elles ne sont pas simples. Cette cause ne peut donc avoir d'effet que quand celui qu'on lui suppose a déjà été produit.

C'est en diminuant de même l'action réciproque des élémens de l'eau par l'attraction de l'un et la répulsion de l'autre, et en rendant ainsi libre une partie de leur électricité dissimulée, que les acides et les alcalis favorisent sa décomposition par la pile : aussi est-elle d'autant plus rapide qu'ils sont plus énergiques. Les sels en dissolution dans ce liquide, agissant, ainsi que nous le verrons, comme acides ou comme alcalis, peuvent produire des effets analogues.

### *Action réciproque des acides et des oxides.*

Si, quand un acide se combine avec un oxide, les électricités libres et antagonistes de leurs molécules peuvent se dissimuler mutuellement, il est clair qu'aucun changement ne doit survenir dans l'union de leurs élémens respectifs. Mais si celle de l'un d'eux, l'électricité positive de l'oxide, par exemple, est comparativement trop faible, l'acide, par son électricité négative prédo-

minante, la développe en attirant celui des élémens qui en est doué et repoussant l'autre. Les effets de cette influence peuvent être portés assez loin pour déterminer leur séparation partielle. On sait, en effet, qu'un grand nombre d'oxides peuvent être ramenés par les acides à un plus haut degré d'oxidation. Tel est entr'autres le deutoxide de barium, qui passe à l'état de protoxide par l'action de l'acide hydrochlorique.

Les alcalis, au contraire, dans leur action sur certains oxides qui jouent à leur égard le rôle d'acides, éliminent une portion du métal en élevant l'autre à un plus haut degré d'oxidation. C'est ainsi que la potasse fait passer le protoxide d'étain à l'état de deutoxide. D'autres fois, en rendant seulement libre par la répulsion une partie de leur électricité positive, ils les rendent susceptibles d'absorber une nouvelle quantité d'oxigène : telle paraît être leur action sur le peroxide de manganèse.

Nous pourrions dire de cette décomposition partielle des oxides métalliques par les acides et les alcalis, ce que nous avons dit ailleurs de leur influence sur la décomposition de l'eau. Ce phénomène nous paraît de même impossible à expliquer par le jeu de l'affinité ; mais il nous apprend pourquoi les métaux ne se combinent avec les acides que lorsqu'ils sont oxidés. Puisqu'en effet un acide dont l'électricité libre est très-prédominante sur celle d'un oxide ne peut s'unir à lui qu'en éliminant une portion de son oxigène, on conçoit qu'à plus forte raison un métal dont les molécules jouissent de toute l'énergie de leur électricité propre, doit, en agissant sur un acide, au lieu de se combiner

avec lui, tendre à séparer ses élémens, ce qui se réalise souvent. De là, la nécessité, pour que la combinaison ait lieu, que son électricité positive soit en partie neutralisée par l'électricité négative de l'oxigène.

On explique de même sans difficulté, après tout ce que nous avons dit, un fait qui devait paraître embarrassant dans la théorie électro-chimique : c'est de savoir comment la capacité de saturation des oxides augmente avec la proportion d'oxigène. Leur électricité positive étant en raison inverse de la proportion de ce principe, il était naturel de penser que la quantité d'acide nécessaire pour les saturer devait suivre le même rapport ; mais on voit qu'à mesure que la proportion de l'oxigène des oxides augmente, son électricité négative rend nulle par la répulsion une partie de plus en plus grande de celle de l'acide dont la quantité, pour une même proportion de métal, doit ainsi augmenter en raison de celle de ce principe.

### *De l'Action mutuelle des sels par l'intermède de l'eau.*

Tous les sels ne sont pas susceptibles de se dissoudre dans ce liquide. Une condition indispensable en effet de la solubilité, c'est la non-neutralité ; car l'un étant un composé neutre, un autre qui le serait également n'aurait aucune action sur elle. La proposition inverse n'est pas également vraie, c'est-à-dire que de l'insolubilité d'un sel on ne doit pas conclure sa neutralité, parce que la force de cohésion des molécules est un obstacle à la solubilité, et peut s'y opposer quoiqu'il ne soit pas neutre.

Quand un de ces composés se dissout dans l'eau, il agit donc comme acide ou comme alcali, par un excès d'électricité négative ou positive; il attire par conséquent l'un de ses élémens et repousse l'autre. Avec ces données, on peut se rendre facilement raison d'un phénomène dont jusqu'ici on n'a donné aucune théorie satisfaisante : je veux parler de la décomposition mutuelle des sels par l'intermède de l'eau. On voit en effet que, dans le mélange de deux dissolutions salines, l'élément dont la répulsion a rendu libre une partie de l'électricité dans le liquide dissolvant de l'un, doit se porter sur celui qui est doué d'une électricité contraire dans le liquide dissolvant de l'autre. Les deux molécules constituantes de l'eau, en devenant libres, agissent dans chaque dissolution, à l'instant où elles se séparent, d'une manière opposée sur les élémens des sels, et représentent en quelque sorte, à leur égard, les poles d'une pile. L'oxigène repousse l'acide attiré au contraire par l'hydrogène. Il attire l'alcali et se porte avec lui sur l'hydrogène de l'autre dissolution, avec lequel il recompose de l'eau, tandis que l'alcali y forme un nouveau sel avec l'acide qu'il y trouve.

C'est donc l'échange entre les principes des molécules de l'eau qui détermine celui des élémens des sels. Cet échange a également lieu, comme on sait, quand elle est décomposée par la pile, et c'est pareillement par ce moyen qu'elle favorise la dissociation, à l'aide de cet instrument, des élémens des composés qu'elle tient en dissolution. Aussi a-t-on remarqué que sa décomposition accompagne toujours celle de ces composés.

Il résulte de ce qui précède que deux dissolutions

salines ne peuvent rester ensemble sans qu'il se fasse un échange entre les élémens des deux sels : ce n'est pas l'opinion qu'on a eue jusqu'à présent. On croit qu'il ne s'effectue que quand il peut en résulter un sel insoluble qui se précipite, et Berthollet assignait la cause de la décomposition dans cette insolubilité même. Mais on a remarqué avec raison que la force de cohésion à laquelle elle est due n'a d'effet que quand la décomposition a eu lieu, et ne peut par conséquent la déterminer. Ce n'est ainsi qu'une cause secondaire qui la rend permanente et manifeste, tandis qu'autrement elle est continuelle et latente.

Il est des phénomènes qui attestent la réalité de cette action latente entre deux dissolutions salines dans lesquelles il ne se forme pas de précipité. Tel est celui qu'on remarque dans la réaction des sous-carbonates de potasse et de soude avec les sels insolubles. La décomposition n'est, comme on sait, jamais complète et s'arrête toujours à une certaine époque, quoiqu'il reste encore du sous-carbonate en dissolution. Cela vient de ce que de la base de ce dernier et de l'acide du sel insoluble, il s'en forme un qui se dissout, et dont la quantité augmente à mesure que la décomposition fait des progrès. Il se développe alors entre les deux sels en dissolution les phénomènes dont nous avons fait mention plus haut. C'est cette action réciproque qui s'oppose à celle que le sous-carbonate exerçait sur le sel insoluble. Elle rend en même temps impossible celle que le sel soluble résultant de la décomposition exercerait sur le sel insoluble qui en provient également; car, dans la décomposition du sulfate de baryte, par

exemple, par le sous-carbonate de potasse, le sulfate soluble qui se forme peut, après la séparation de ce sous-carbonate, décomposer celui de baryte; mais cette décomposition est aussi toujours incomplète à cause de la formation du sous-carbonate de potasse qui rentre dans la dissolution.

### *Des Phénomènes chimiques organiques.*

Nous avons vu des combinaisons s'effectuer entre des corps dont les molécules étaient douées par elles-mêmes d'une électricité libre et de nature contraire; nous en avons vu d'autres dans lesquelles l'un d'eux seulement, doué de propriétés acides ou alcalines, en développait dans l'autre par son influence et en faisait ainsi en quelque sorte un alcali ou un acide accidentel, mais passager et conditionnel; car cet état disparaît avec l'influence qui l'a produit. Nous allons en étudier maintenant d'un troisième genre entre des corps dont les uns seulement ont des propriétés acides ou alcalines comme dans le cas précédent, mais en développent dans les autres qui sont permanentes : ce sont, en un mot, des alcalis ou des acides réels qui se forment, et il se produit ainsi deux composés, au lieu d'un. Le composé définitif est précédé de la formation d'un autre qui n'est produit que pour être propre à faire partie du premier.

On voit un exemple remarquable de ce genre de combinaison dans l'action des alcalis sur les substances grasses. Les molécules des premiers ne trouvant point dans celles des autres de l'électricité négative libre qui puisse neutraliser leur électricité positive, en dévelop-

pent comme dans leur action sur l'eau, en attirant celles de leurs molécules élémentaires qui sont électrisées négativement et repoussant les autres; mais l'eau n'étant formée que par deux molécules constituantes, il est évident que cette influence ne pouvait amener chez elle la production d'un nouveau composé. Les substances organiques en contenant un plus grand nombre, elles peuvent, par un changement dans leur disposition relative, s'arranger de manière à former des composés dans lesquels prédomine l'électricité négative, et susceptibles par conséquent de neutraliser l'électricité positive des alcalis.

Ce mode de combinaison est bien différent de celui qui donne naissance aux composés inorganiques. Dans leur formation en effet, les molécules constituantes, livrées à leur action réciproque, sont libres d'obéir à leur tendance à se combiner une à une. La combinaison est ainsi toujours binaire, c'est-à-dire qu'il n'y a que deux forces en action pour la produire. Les proportions de leurs élémens dérivent uniquement de cette disposition binaire des molécules et de leur nombre. Leur état électrique n'y a aucune influence; mais, dans la formation des acides par l'action des alcalis sur les substances grasses, leurs molécules constituantes ne sont plus abandonnées à leur seule action réciproque; elles sont dominées par l'influence de l'électricité positive des alcalis, influence qui s'oppose à leur tendance à se combiner une à une, et les oblige à se réunir en tel nombre, et à prendre une disposition relative telle qu'il en résulte des composés dont l'état électrique soit susceptible de neutraliser celui qui agit sur elles. En effet, l'électricité

négative des molécules attirées étant en partie dissimulée par l'électricité positive des alcalis, au moment où les composés nouveaux se forment, elles sont forcées de s'arranger avec les autres, de manière à ce qu'elle reste en excès chez eux.

Il est évident que c'est, dans ce cas, de l'état électrique que ces composés doivent prendre que dépendent les proportions de leurs élémens. Cette particularité est importante à noter ; car la différence des propriétés des substances organiques ne tenant qu'à la différence dans les proportions de leurs élémens, la variété prodigieuse des premières devait faire présumer que la cause qui détermine les secondes ne pouvait être la même que dans les matières inorganiques où les combinaisons ne se font qu'en un très-petit nombre de proportions.

Toutes les substances de la première classe paraissent devoir leur formation à un mode de combinaison analogue à celui que nous venons d'examiner, c'est-à-dire, à cette propriété qu'ont les substances alcalines d'en développer dans d'autres qui sont acides, ou réciproquement. Prenons d'abord, en effet, les matières qui sont produites dans l'acte de la digestion pour exemple. On sait que le résultat de cette fonction est la transformation partielle des alimens en chyme et de celui-ci en chyle. C'est par l'action des liqueurs versées par les vaisseaux excréteurs dans le canal intestinal qu'elle s'opère. On a remarqué que les substances qui y sont ingérées s'acidifient après quelques momens de séjour. Cela confirme notre théorie, puisque toutes liqueurs versées dans le canal intestinal sont alcalines. Le chyme et le chyle ne sont donc que des sels composés de ces liqueurs

alcalines et des acides développés par leur influence, dans les alimens pour le chyme, et dans celui-ci pour le chyle.

L'acte par lequel les organes donnent naissance aux liqueurs qu'ils sécrètent ne diffère des précédens qu'en ce que les produits acides ou alcalins résultant de l'influence de la matière particulière qui compose chacun d'eux sur le sang, ne se combinent pas avec elle. C'est pour cela que toutes les liqueurs sécrétées sont alcalines ou acides. Ce n'est pas là le seul exemple de ce genre. La fermentation, soit alcoolique, soit acétique, est un phénomène analogue, puisque, comme dans la sécrétion, les produits formés ne se combinent pas avec la matière qui a déterminé leur formation, du moins si l'on en juge par la petite quantité de ferment qui disparaît pendant l'opération.

Nous venons de voir ce que les substances organiques présentent de spécial dans le mode de leur formation : disons un mot maintenant des causes de leur décomposition spontanée.

Elles dérivent de la manière dont les molécules élémentaires sont disposées, sous le rapport de leur état électrique, dans ces matières. Il n'est pas le même pour toutes les molécules de même nature. Dans les substances végétales, par exemple, l'oxigène n'étant jamais en assez grande proportion pour faire de l'eau avec l'hydrogène, et de l'oxide de carbone ou de l'acide carbonique avec le carbone, les molécules de celui-ci doivent être douées, les unes de l'électricité positive et tendre à se combiner avec l'oxigène, les autres de l'électricité négative et agir plus spécialement sur l'hydro-

gène. L'azote doit être, dans le même cas, dans les substances animales. Il n'en est pas de même de l'oxigène et de l'hydrogène, le premier étant négatif et le second positif à l'égard de tous les autres.

On voit par là que les substances organiques doivent tendre sans cesse à se transformer en un certain nombre de composés inorganiques; car, dans une d'elles, composée de quatre élémens, les molécules de carbone électrisées positivement tendent à former de l'acide carbonique avec l'oxigène, et celles qui le sont négativement de l'hydrogène carboné avec l'hydrogène, dont une partie pourrait aussi produire de l'eau avec l'oxigène, ou de l'ammoniaque avec l'azote, etc.

La cause de leur décomposition spontanée est donc manifestement dans la tendance naturelle des molécules à former des composés binaires, en se combinant une à une; tendance dont les effets n'ont été que momentanément suspendus, et qui se réalisent au moyen des circonstances qui la favorisent en les rendant libres: telle est en particulier une température un peu élevée. Alors aux composés organiques succèdent en dernier résultat des composés binaires, inorganiques, tels que l'eau, l'acide carbonique, l'ammoniaque, etc.

Telle est l'ébauche des considérations théoriques sur lesquelles j'ai desiré fixer l'attention des chimistes. Des applications plus nombreuses, en multipliant les faits sur lesquels elles sont fondées, auraient sans doute beaucoup ajouté à l'intérêt qu'elles peuvent mériter; mais cela était incompatible avec les limites étroites dans lesquelles la nature de ce journal m'oblige à me renfermer.

## Mémoire *sur le Lait vénéneux de l'*hura crepitans.

Par MM. Boussingault et Rivero.

Il existe, dans les vallées chaudes qui environnent le plateau de Bogota, un arbre nommé *Ajuapar*, dont le lait est justement redouté : il suffit d'être exposé aux émanations de ce suc laiteux fraîchement extrait, pour en être incommodé d'une manière grave. Son usage indique assez ses qualités pernicieuses ; car, à Guaduas, on l'emploie pour pêcher, en en empoisonnant les rivières et les étangs.

D'après les renseignemens qui nous ont été communiqués par Don Luis Cespeder, professeur de botanique, l'ajuapar est l'*hura crepitans* de Linnæus, très-bel arbre dont le fruit est recherché pour faire des poudrières de bureau : aussi, dans les colonies françaises, donne-t-on à l'*hura crepitans* le nom de *Sablier*.

Notre ami le Dr Roulin profita d'un voyage à Guaduas pour nous faire parvenir promptement le suc de l'*ajuapar*, qui a été l'objet de nos expériences.

Ce lait végétal ressemblerait parfaitement à celui de la vache s'il n'était légèrement jaunâtre ; il n'a pas d'odeur ; sa saveur est d'abord peu marquée ; mais on éprouve, quelque temps après l'avoir goûté, une forte irritation au gosier ; il rougit la teinture de tournesol ; l'alcool et les acides y déterminent un dépôt blanc et visqueux ; la liqueur surnageante est limpide et de couleur fauve.

1. Un litre de lait d'ajuapar fut évaporé en consistance d'extrait. Nous devons noter ici que celui de nous

qui conduisit cette évaporation eut, quelques heures après l'opération, la figure extrêmement enflée; les yeux étaient comme ulcérés, et il s'établit à la partie externe des oreilles une abondante suppuration. Le mal dura plusieurs jours et céda aux bains réitérés de lait de femme. Cet accident prouve jusqu'à l'évidence que le principe actif du suc d'ajuapar est volatil.

2. L'extrait obtenu fut mis en digestion avec de l'alcool à 36° : celui-ci prit une teinte jaune foncée, et rougit dès-lors le papier bleu.

3. La dissolution alcoolique fut évaporée, et le résidu, repris par l'eau, laissa indissoute une matière jaune et visqueuse. Pendant l'évaporation de la dissolution alcoolique, celui qui la dirigeait éprouva le même accident qui avait eu lieu en évaporant le suc frais.

4. La dissolution aqueuse avait la même couleur que la dissolution alcoolique; comme elle aussi, elle était acide; par l'acétate de plomb, elle formait un dépôt blanc et floconneux qui se redissolvait avec une grande facilité par l'addition de quelques gouttes d'acide acétique; ce caractère indiquait la présence de l'acide malique, et comme la liqueur ne précipitait pas par l'oxalate d'ammoniaque, on pouvait croire que cet acide était à l'état libre; mais ayant traité une portion de la liqueur par la magnésie, nous nous sommes assurés que la propriété acide était due à la présence du malate acide de potasse.

5. Les dissolutions aqueuse et alcoolique ci-dessus examinées avaient une odeur particulière, se rapprochant aussi de celle de la viande bouillie : nous croyons pouvoir attribuer cette odeur à la matière colorante brune de ces mêmes dissolutions, et quoique nous n'ayons pu

isoler entièrement cette matière, nous nous sommes assurés qu'elle possède les propriétés suivantes : son odeur ressemble assez à celle du bouillon de bœuf; elle est soluble dans l'eau comme dans l'alcool; mais elle ne se dissout ni dans l'éther ni dans l'ammoniaque : nous la considérerons comme une substance analogue à l'osmazôme.

6. La matière jaune et visqueuse (3), non soluble dans l'eau, fut bien lavée par ce liquide bouillant; à Bogota, l'eau bout un peu au-dessous de 92° centig. A cette température, elle n'était pas parfaitement liquide; mise en digestion avec de l'éther sulfurique, elle se dissolvit presqu'entièrement, laissant seulement un léger résidu, d'abord d'apparence huileuse, mais qui, après la totale évaporation de l'éther, se présenta sous la forme de petits cristaux solubles dans l'eau et dans l'alcool, et d'une saveur âcre et brûlante. Les dissolutions aqueuses ou alcooliques de cette matière cristalline rougissaient le papier de curcuma et ramenaient au bleu celui de tournesol rougi par l'acide acétique : nous avons obtenu cette substance en trop petite quantité pour pouvoir en faire un plus ample examen.

7. La dissolution éthérée, abandonnée à elle-même dans un vase ouvert, laissa la matière jaune visqueuse : comme cette matière existe en proportion notable dans le suc de l'ajuapar, nous avons pu l'étudier suffisamment.

Elle est sans odeur; sa saveur, d'abord nulle, se développe quelque temps après son application sur la langue; mise en très-petite quantité sur la peau, elle y fait naître une multitude de petites pustules, comme le ferait un fort vésicant.

A une température supérieure à celle de l'eau bouillante, elle devient liquide, bout et se volatilise; mais pendant sa distillation en vase clos elle se décompose en partie et laisse un résidu charbonneux.

Les vapeurs aqueuse et alcoolique favorisent singulièrement sa volatilisation, et si l'on s'expose alors à ces vapeurs, on éprouve un accident semblable à celui arrivé durant l'évaporation du suc frais de l'ajuapar; elle tache le papier à la manière des huiles volatiles, et se dissout très-bien dans l'essence de térébenthine.

La potasse caustique et l'ammoniaque sont presque sans action sur elle; l'acide nitrique l'attaque vivement et semble la résinifier. Telles sont les propriétés de cette substance; on peut la considérer comme une huile essentielle, quoique cependant elle soit sans odeur : nous la désignerons par le nom d'*huile essentielle vésicante*.

8. La partie non soluble dans l'alcool (a) fut traitée par l'eau bouillante, et bien lavée à l'eau chaude : elle était à l'état d'une pâte blanche et molle, sans saveur ni odeur; l'acide acétique la dissolvait, mais la dissolution était toujours louche; l'acide hydrochlorique la dissolvait aussi, mais en moindre quantité.

Broyée dans un mortier de verre avec une solution de potasse caustique, elle formait une émulsion savonneuse; laissée sous l'eau pendant plusieurs jours (la température a varié de 15° à 19° centig.), elle éprouva une fermentation putride, et l'odeur qui se développait était celle de vieux fromage.

Séchée à l'air, elle prit une couleur brune, un aspect corné et devint cassante; jetée alors sur des charbons ardens, elle s'enflammait en se boursoufflant et répan-

dant l'odeur de corne qu'on brûle. Ces propriétés appartiennent essentiellement au gluten : aussi désignerons-nous ainsi notre substance ; et si sa consistance molle et non élastique semblait établir une différence entre elle et le gluten, nous rappellerions qu'elle a été soumise à l'ébullition, et que le gluten bouilli perd son élasticité.

9. Pour rechercher s'il existait de la cire dans le lait d'ajuapar, nous avons fait bouillir le gluten desséché dans de l'alcool ; mais le liquide décanté très-chaud n'a rien laissé déposer en se refroidissant.

10. L'eau dans laquelle on avait fait bouillir la substance ci-dessus examinée (8) fut concentrée ; par le refroidissement, il se forma un dépôt blanc et grenu dans lequel on distinguait de beaux cristaux de nitrate de potasse.

11. Le dépôt grenu (10), lavé à l'eau froide, possédait les caractères suivans : il se dissolvait en petite proportion dans l'eau ; l'acétate de plomb produisait dans cette dissolution des flocons blancs, qui disparaissaient aussitôt par l'addition de quelques gouttes de vinaigre ; l'oxalate d'ammoniaque y occasionait également un précipité. D'après ces propriétés et quelques autres qu'il serait inutile de rapporter ici, nous nous sommes assurés que le dépôt blanc et grenu n'était autre chose que du malate de chaux.

Il résulte de notre travail que le suc laiteux de l'*hura crepitans* contient :

1°. Du gluten ;

2°. Une huile essentielle vésicante ;

3°. Un principe âcre, cristallisable et alcalin ?

4°. Du malate acide de potasse ;

5°. Du nitrate de potasse;
6°. Du malate de chaux;
7°. De l'osmazôme ?

Bogota, décembre 1824.

---

## SUR *quelques Circonstances de la formation de l'ammoniaque, et sur les Moyens de reconnaître la présence de petites portions d'azote dans certains états.*

PAR M. FARADAY.

(Extrait.)

M. FARADAY, ayant eu occasion d'examiner une substance organique sous le rapport de l'azote qu'elle pouvait contenir, fut surpris d'obtenir beaucoup d'ammoniaque lorsqu'il la chauffait avec la potasse hydratée, et de n'en pas obtenir du tout lorsqu'il la chauffait seule dans un tube. Supposant que la potasse déterminait la combinaison de l'azote contenu dans la substance avec l'hydrogène, et qu'elle pourrait ainsi servir à en faire reconnaître la présence dans les corps, il voulut s'assurer du degré de sensibilité qu'on pouvait en attendre, en la chauffant avec des substances ne contenant point d'azote, telles que le sucre, le ligneux, etc.; mais, à son grand étonnement, il obtint encore de l'ammoniaque. Les acides et les sels végétaux en donnèrent tous en plus ou moins grande quantité, et même plusieurs métaux; circonstance qui parut simplifier beaucoup l'expérience.

La manière la plus simple d'opérer est la suivante : mettez un petit morceau de feuille de zinc bien propre dans un tube de verre, fermé à une extrémité et d'environ un quart de pouce de diamètre ; portez sur le zinc un morceau de potasse, et deux pouces environ au-dessus, placez une bande de papier de curcuma. Tenant alors le tube dans une position inclinée, chauffez-en l'extrémité fermée avec la lampe à esprit-de-vin, de manière à fondre la potasse sans déterminer une ébullition assez vive pour la faire soulever. Au bout d'une ou deux secondes, le papier de curcuma sera rougi, pourvu qu'on n'ait pas chauffé la partie du tube où il est placé, et il reprendra sa couleur primitive si, après l'avoir retiré, on l'expose à la chaleur.

On pourrait croire d'abord que la source de l'azote était dans l'atmosphère ; mais l'expérience, répétée avec beaucoup de soin dans l'hydrogène, a donné le même résultat. La potasse pouvant avoir touché accidentellement une substance animale, on a commencé par la chauffer au rouge, et l'on a eu soin d'éviter tout contact avec d'autres substances que le verre ou des métaux parfaitement propres. Les tubes étaient neufs ; on les a rougis, et pendant ce temps on y a fait passer de l'air ; on a même poussé le scrupule jusqu'à ne pas les essuyer avec du drap ou de la toile.

Le zinc a été nettoyé avec la plus sévère attention, et néanmoins les résultats sont restés les mêmes. Pour donner une idée de la sensibilité de ce mode d'épreuve, il suffira de dire que du sable chauffé au rouge dans un creuset, puis refroidi sur une plaque de cuivre, ne donne aucune trace d'ammoniaque lorsqu'on le met immédia-

tement dans un tube de verre et qu'on l'y calcine; mais qu'il en produit très-sensiblement si on l'a tenu quelques momens dans la main, et qu'on l'y ait remué avec le doigt.

Comme il devenait alors probable que la potasse pouvait contenir un peu d'une substance nitreuse ou d'un cyanure, M. Faraday a porté toute son attention sur la préparation de cet alcali. Il a calciné du tartre pur, a traité le carbonate de potasse qui en est résulté par de la chaux calcinée immédiatement, a séparé la potasse par décantation, sans lui faire toucher aucune substance animale ou végétale, et l'a concentrée dans des vaisseaux parfaitement propres. Calcinée seule, la potasse ainsi préparée n'a donné aucun signe d'ammoniaque, mais constamment lorsqu'elle a été chauffée avec du zinc. Enfin, pour éviter toute source possible d'impureté ou d'azote dans la potasse, M. Faraday en a préparé avec du potassium, en prenant de si grandes précautions qu'il serait difficile de lui faire, à cet égard, la plus légère objection. Néanmoins, lorsqu'on a chauffé la potasse avec le zinc, dans du gaz hydrogène parfaitement pur, il s'est aussitôt développé de l'ammoniaque; et, chose singulière, il s'en est encore produit avec de la potasse qui avait été chauffée avec du zinc pour l'épuiser de toute substance dont la présence aurait pu contribuer à la formation de l'ammoniaque, et qui avait été ensuite dissoute dans l'eau et séparée par décantation du dépôt qui s'y était formé.

Quant à l'eau employée dans les diverses expériences, elle avait été distillée plusieurs fois; mais, selon sir H. Davy, elle retient avec tant de force de petites quantités

d'azote, que M. Faraday n'ose se flatter d'avoir pu éviter entièrement cette cause d'erreur. La substance alcaline produite s'est comportée comme de l'ammoniaque aux épreuves nombreuses auxquelles elle a été soumise.

Ces expériences sur la production de l'ammoniaque rappellent à l'esprit celles de Woodhouse de Philadelphie, sur l'action de l'eau sur un mélange de charbon et de potasse soumis à la chaleur, pendant laquelle il se produit beaucoup d'ammoniaque. Sir H. Davy a aussi reconnu qu'un mélange d'une partie de potasse et de quatre de charbon, chauffé dans un vaisseau fermé, et refroidi sans le contact de l'atmosphère, donnait de petites quantités d'ammoniaque lorsqu'on y ajoutait un peu d'eau et qu'on le soumettait à la distillation; mais, en répétant la même série d'opérations, la quantité d'ammoniaque a diminué dans chaque expérience, et à la quatrième, elle était à peine sensible. La production de l'ammoniaque ne dépend pas de la présence de l'air, mais bien de la potasse; car, en ajoutant au mélange une nouvelle quantité de potasse, l'ammoniaque paraît aussitôt.

La potasse n'est pas la seule substance qui produise cet effet avec les métaux et les matières végétales. On l'obtient avec la soude, la chaux et la baryte. Les oxides métalliques communs, tels que ceux de manganèse, de cuivre, d'étain, de plomb, etc., n'agissent pas de la même manière.

L'eau ou ses élémens paraissent être nécessaires au succès de l'expérience. La potasse, desséchée par la chaleur autant que possible, ne produit que peu ou point d'ammoniaque avec le zinc; mais en y ajoutant un peu

d'eau, elle donne de l'ammoniaque comme d'ordinaire. Il en est de même avec la chaux.

Les métaux employés avec la potasse paraissent agir d'après leur pouvoir d'absorber l'oxigène. Le potassium, le fer, le zinc, l'étain, le plomb et l'arsenic produisent beaucoup d'ammoniaque, tandis que l'éponge de platine, l'argent, l'or, etc. ne donnent rien de semblable. Une petite portion d'un fil de fer introduite dans de la potasse en fusion au fond d'un tube a donné de l'ammoniaque; mais le dégagement a cessé bientôt, et le fil était noirci à sa surface. L'introduction d'une seconde portion du même fil a produit un second dégagement d'ammoniaque. Du cuivre bien propre, plongé de même dans la potasse en fusion, n'en a causé qu'un très-léger, et il était terni.

Les substances suivantes, que l'on suppose ne point contenir d'oxigène, telles que le ligneux, l'oxalate de potasse, l'oxalate de chaux, le tartrate de plomb, l'acétate de chaux, l'asphalte, ont donné des quantités très-sensibles d'ammoniaque; mais l'acétate de potasse, l'acétate de plomb, le tartrate et le benzoate de potasse, l'oxalate de plomb, le sucre, la cire, l'huile d'olive, la naphtaline n'en ont produit que de petites quantités. On n'en a point obtenu avec la résine, l'alcool, l'éther et le gaz oléfiant. Il est à remarquer qu'avec les substances qui donnent de l'azote, la quantité en est d'autant plus grande que l'on emploie plus de potasse.

Pendant le cours de ses recherches, M. Faraday s'est assuré de nouveau que la chaux et la potasse bien préparées ne donnent point d'ammoniaque lorsqu'on les

chauffés seules ; mais ces deux alcalis acquièrent la propriété d'en donner par leur séjour dans l'air.

M. Faraday s'est abstenu de tout raisonnement sur la probabilité de la nature composée de l'azote. Il s'est attaché à rendre les expériences principales aussi décisives que possible, en excluant toutes les sources d'azote qu'il pouvait soupçonner ; mais il avoue n'être pas convaincu d'y avoir parfaitement réussi. Les résultats qu'il a obtenus lui paraissent mériter attention ; et si l'on démontrait que l'azote a pu s'introduire d'une manière quelconque dans ses expériences, elles prouveraient du moins l'extrême sensibilité de la chaleur, ou de la chaleur et de la potasse, pour en accuser la présence par la formation de l'ammoniaque. L'absorption par la chaux ou la potasse de quelque substance dans une atmosphère inhabitée, qui donne de l'ammoniaque lorsqu'on opère comme on l'a indiqué, est un fait très-intéressant dont on pourrait faire l'application à l'examen de l'air des lieux infectés et inhabités.

(*Quarterly Journal*, etc.)

---

## Sur *les Propriétés chimiques du Rocou.*

Par Mr J.-Bte Boussingault.

Quoique le rocou soit employé en teinture depuis bien long-temps, ses propriétés chimiques sont cependant très-imparfaitement connues ; l'histoire naturelle de cette matière ne laisse au contraire rien à desirer ;

on sait qu'on l'extrait du fruit du *bixa orellana* (1), arbre très-commun dans l'Amérique méridionale. Ce fruit, couvert d'épines flexibles, est siliqué, et chaque silique renferme trente à quarante graines moins grosses qu'un pois et enduites d'une matière gluante d'un rouge de vermillon.

Pour extraire cette substance rouge, on écrase, dans des espèces d'auges, les graines du *bixa orellana*; on ajoute de l'eau et on laisse tremper pendant plusieurs jours; il s'établit alors une sorte de fermentation putride; au bout de ce temps, on jette la matière sur des passoirs, et l'on reçoit le liquide qui tient la couleur rouge en suspension; on laisse déposer, puis l'on décante; enfin la substance rouge est mise à sécher à l'ombre, et dès qu'elle a la consistance convenable, on la moule en petits pains, qui sont expédiés pour l'Europe sous le nom de *rocou*.

Ce procédé a plusieurs inconvéniens, entr'autres celui de donner un produit assez impur : la méthode suivie à Santa-Fé de Bogota est préférable; elle consiste à frotter les unes contre les autres, et sous l'eau, les graines du rocouyer : comme la matière colorante est seulement superficielle, on l'enlève ainsi entièrement, sans charger l'eau qui la reçoit du mucilage contenu dans l'intérieur des graines; comme dans l'autre méthode, on laisse déposer et l'on décante. La matière colorante ainsi obtenue se nomme *achiote* dans le pays, et dans

(1) Le mot *bixa*, adopté par les botanistes, est tiré de l'ancienne langue d'Haïti. *Rocou* dérive du mot brésilien *urucu*. (HUMBOLDT, *Voyages*, tom. VI, p. 317.)

l'économie domestique elle remplace le safran avec avantage.

J'ai employé le même procédé pour me procurer le rocou que j'ai soumis aux essais qui vont suivre, avec cette seule différence que j'ai filtré pour le séparer de l'eau qui le tenait en suspension; ainsi préparé, il est d'un beau rouge; en séchant, il prend une teinte plus foncée; son odeur, bien que faible, est désagréable; il n'a pas de saveur.

Soumis à l'action du feu, il devient mou, s'enflamme et brûle en répandant beaucoup de fumée; il laisse un charbon léger et très-brillant.

L'eau dissout le rocou en petite quantité; elle prend alors une teinte d'un jaune pâle.

L'alcool le dissout en plus grande proportion; la dissolution faite à froid est d'une belle couleur orange; par l'évaporation spontanée, on obtient la matière colorante à l'état pulvérulent.

L'éther sulfurique dissout le rocou encore plus facilement que ne le fait l'alcool; la dissolution est rouge-orange.

La potasse caustique, les carbonates de potasse et de soude dissolvent le rocou en très-grande proportion; les acides le précipitent sous forme de flocons très-divisés; ces dissolutions alcalines sont d'un rouge très-foncé.

Le chlore décolore subitement la dissolution alcoolique de rocou; la liqueur devient blanche et comme laiteuse.

L'acide hydrochlorique n'exerce aucune action sur le rocou, il en est de même de l'acide acétique; l'acide sulfurique, au contraire, présente avec lui un phéno-

mène remarquable : si l'on verse de cet acide concentré sur du rocou en poudre, la couleur rouge passe aussitôt à celle d'un très-beau bleu indigo; mais cette teinte bleue n'est pas permanente; elle perd peu à peu son éclat, passe au vert, et vingt-quatre heures après elle devient violette. Il paraît que cette propriété de bleuir par l'acide sulfurique n'appartient pas seulement au rocou, car, d'après MM. Vogel et Bouillon-Lagrange, la matière colorante du safran la possède également (1).

A la température ordinaire, l'action de l'acide nitrique sur le rocou est peu marquée; il lui communique d'abord une teinte verte qui passe bientôt au jaune : on aida l'action de l'acide par une légère chaleur; il se dégagea alors une grande quantité de vapeurs nitreuses, le rocou prit une consistance sirupeuse, et, quelques minutes après, le mélange s'enflamma et fusa rapidement; il resta pour résidu un charbon très-divisé.

Le rocou se dissout facilement dans l'huile essentielle de térébenthine; les huiles grasses le dissolvent également bien; c'est le mélange du rocou avec un corps gras que les Indiens Caribes et Otomaques emploient pour se peindre; ils le nomment *onoto*; mais ils lui préfèrent toujours la chica, qui, indépendamment d'un rouge plus vif, a sur l'onoto l'avantage de résister beaucoup mieux à l'action du soleil.

Bogota, 1824.

---

(1) *Traité de Chimie* de Thenard, t. III, p. 558.

# OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. *Avril* 1825.

| JOURS. | 9 HEURES DU MATIN. | | | MIDI. | | | 3 HEURES DU SOIR. | | | 9 HEURES DU SOIR. | | | THERMOMÈTRE. | | ÉTAT DU CIEL | VENTS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | Barom. à 0°. | Therm extér. | Hygr. | Barom. à 0°. | Therm. extér. | Hygr. | Barom. a 0°. | Therm. extér. | Hygr. | maxim. | minim. | à midi. | à midi. |
| 1 | 764,72 | + 5,3 | 71 | 764,44 | + 9,5 | 56 | 763,70 | +12,0 | 46 | 764,60 | + 7,5 | 58 | +12,3 | + 1,2 | Nuageux. | N. N. E. |
| 2 | 766,65 | + 8,5 | 66 | 765,84 | +11,0 | 55 | 765,09 | +10,2 | 68 | 764,92 | + 7,5 | 78 | +11,0 | + 2,8 | Nuages à l'horizon. | N. |
| 3 | 765,60 | + 7,0 | 84 | 765,00 | + 9,5 | 80 | 763,87 | +12,5 | 65 | 763,73 | + 9,3 | 77 | +13,2 | + 6,2 | Lég. nuag. à l'horiz. | N. |
| 4 | 763,14 | +10,6 | 76 | 762,84 | +14,0 | 65 | 761,48 | +16,5 | 48 | 761,65 | +12,2 | 59 | +17,0 | + 3,4 | Trouble. | N. O. |
| 5 | 762,67 | +12,3 | 82 | 762,42 | +14,8 | 72 | 761,67 | +13,8 | 78 | 761,88 | + 7,8 | 95 | +14,8 | + 5,1 | Nuageux. | N. E. |
| 6 | 763,45 | +11,3 | 76 | 762,58 | +15,5 | 58 | 761,32 | +18,5 | 42 | 761,52 | +13,0 | 75 | +18,8 | + 5,0 | Beau. | N. E. |
| 7 | 763,40 | +12,0 | 68 | 762,90 | +15,5 | 51 | 762,16 | +18,2 | 40 | 762,65 | +13,8 | 40 | +18,8 | + 7,3 | Beau. | E. N. E. |
| 8 | 764,12 | +13,8 | 65 | 763,30 | +17,2 | 51 | 762,30 | +19,1 | 42 | 761,68 | +13,6 | 65 | +19,5 | + 7,5 | Beau. | E. N. E. |
| 9 | 762,03 | +15,0 | 62 | 761,49 | +18,8 | 46 | 760,73 | +20,4 | 35 | 761,34 | +13,5 | 66 | +20,4 | + 6,0 | Légères vapeurs. | N. |
| 10 | 763,76 | +17,1 | 62 | 763,43 | +20,5 | 48 | 762,84 | +20,3 | 43 | 762,85 | +12,5 | 60 | +22,8 | + 7,5 | Nuageux. | N. E. |
| 11 | 762,20 | +18,0 | 66 | 761,45 | +21,9 | 50 | 760,35 | +21,5 | 46 | 760,34 | +14,0 | 54 | +22,1 | + 5,0 | Nuageux. | O. S. O. |
| 12 | 761,36 | +12,2 | 80 | 761,07 | +13,8 | 68 | 730,40 | +15,8 | 71 | 761,47 | +10,1 | 81 | +15,8 | + 9,0 | Quelques éclaircies. | O. |
| 13 | 762,08 | +13,1 | 78 | 761,37 | +15,5 | 67 | 760,50 | +17,5 | 63 | 762,40 | +13,0 | 88 | +17,5 | + 6,4 | Nuageux. | O. |
| 14 | 763,33 | +15,2 | 78 | 762,90 | +18,0 | 70 | 762,44 | +18,6 | 65 | 762,92 | +12,3 | 88 | +18,6 | + 9,5 | Couvert. | O. |
| 15 | 764,42 | +15,8 | 70 | 764,08 | +17,5 | 59 | 763,16 | +18,2 | 52 | 763,64 | +11,0 | 78 | +18,3 | + 8,0 | Nuageux. | O. ● |
| 16 | 763,70 | +15,5 | 64 | 762,80 | +17,5 | 59 | 761,48 | +17,5 | 56 | 761,06 | +13,0 | 72 | +17,5 | + 7,2 | Nuageux. | O. |
| 17 | 761,58 | +12,8 | 75 | 761,30 | +14,2 | 57 | 760,84 | +14,9 | 49 | 761,44 | + 7,8 | 59 | +14,9 | + 6,8 | Couvert. | N. O. |
| 18 | 761,35 | + 7,5 | 63 | 760,48 | + 9,5 | 52 | 759,00 | +10,8 | 43 | 759,25 | + 5,8 | 56 | +10,8 | + 2,0 | Quelques éclaircies | N. |
| 19 | 761,62 | + 7,8 | 70 | 761,05 | + 9,8 | 65 | 761,70 | +11,0 | 52 | 762,30 | + 5,8 | 80 | +11,0 | + 0,8 | Quelques éclaircies. | N. |
| 20 | 763,72 | +11,5 | 68 | 762,84 | +12,8 | 53 | 761,58 | +13,2 | 38 | 762,65 | +10,8 | 76 | +14,3 | + 0,9 | Très-nuageux. | S. O. |
| 21 | 759,72 | +13,6 | 85 | 759,08 | +15,0 | 81 | 757,74 | +15,0 | 82 | 755,70 | +11,0 | 80 | +15,8 | + 9,2 | Quelq gouttes d'eau. | O. |
| 22 | 752,84 | +15,5 | 70 | 751,21 | +19,0 | 52 | 749,16 | +19,5 | 45 | 746,80 | +14,5 | 53 | +19,5 | + 8,5 | Nuageux. | S. S. O. |
| 23 | 746,34 | +15,3 | 84 | 745,64 | +20,0 | 59 | 744,90 | +20,5 | 57 | 743,54 | +13,0 | 95 | +22,3 | +10,0 | Nuageux. | S S. O. |
| 24 | 743,65 | +13,9 | 92 | 743,58 | +14,9 | 95 | 744,09 | +15,0 | 88 | 745,90 | +11,3 | 95 | +16,0 | +10,4 | Pluie abondante. | S. |
| 25 | 750,58 | +17,5 | 77 | 750,76 | +20,6 | 67 | 750,18 | +21,0 | 65 | 749,83 | +14,5 | 81 | +21,0 | + 7,5 | Très-nuageux. | S. |
| 26 | 747,80 | +17,8 | 78 | 746,48 | +20,8 | 63 | 741,66 | +21,8 | 57 | 742,70 | +13,5 | 96 | +21,8 | + 9,8 | Nuageux. | E. S. E. |
| 27 | 741,73 | +16,8 | 98 | 742,18 | +16,5 | 80 | 742,22 | +17,8 | 78 | 744,10 | +20,2 | 95 | +18,8 | +10,2 | Couvert. | S. |
| 28 | 743,96 | +18,0 | 77 | 743,68 | +19,4 | 76 | 743,12 | +17,4 | 78 | 743,50 | +12,9 | 99 | +19,4 | + 8,8 | Très-nuageux. | S. E. |
| 29 | 745,93 | +14,9 | 89 | 746,38 | +14,5 | 88 | 747,30 | +15,1 | 74 | 749,18 | + 9,2 | 95 | +16,0 | + 8,3 | Couvert. | S. O. |
| 30 | 751,90 | +15,0 | 77 | 752,05 | +16,6 | 72 | 752,17 | +14,1 | 78 | 753,50 | + 9,5 | 96 | +16,6 | + 6,1 | Quelques éclaircies. | S. |
| 1 | 763,05 | +11,3 | 71 | 763,42 | +14,6 | 58 | 762,52 | +16,1 | 51 | 762,68 | +11,1 | 67 | +16,9 | + 5,2 | Moyennes du 1 au 10. | Pluie en centim. |
| 2 | 762,54 | +13,0 | 71 | 762,02 | +15,0 | 60 | 761,15 | +15,9 | 53 | 761,85 | +10,4 | 73 | +16,1 | + 5,6 | Moyenn. du 11 au 20 | Cour, 5,786 |
| 3 | 748,45 | +15,8 | 83 | 748,10 | +17,7 | 74 | 747,55 | +17,7 | 70 | 747,48 | +13,0 | 90 | +18,7 | + 8,9 | Moyenn. du 21 au 30. | Terrasse, 5,349 |
| | 758,31 | +13,4 | 75 | 757,85 | +15,8 | 64 | 757,07 | +16.6 | 58 | 757,33 | +11,5 | 77 | +17,2 | + 6,5 | Moyennes du mois, | +11°,9. |

# TABLE

## DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.